



**MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI**  
**MAGISTRATO ALLE ACQUE**  
*Ufficio Tecnico per l'Antinquinamento*  
*della laguna di Venezia del Magistrato alle Acque*

**RAPPORTO SULLO STATO AMBIENTALE DELLE ACQUE DEI RII DI VENEZIA**  
**E DELLE AREE LAGUNARI LIMITROFE**  
**CAMPAGNA DI MONITORAGGIO 2008 – 2009**



Ufficio Tecnico Antinquinamento - s. Polo 737 - 30125 VENEZIA - Tel. 041/794370 - 041/794443 - Fax 041/5286706  
[www.magisacque.it](http://www.magisacque.it)





**Il Dirigente dell'Ufficio**

*Alfredo Caielli*

**Il responsabile del progetto**

*Giorgio Ferrari*

**Testi ed elaborazione dati**

*Giorgio Ferrari, Stefano Marcon, Elisa Volpato, Sebastiano Carrer, Claudio Carrer, Giovanna Todesco, Francesca Croci, Francesco Maicu*

**Attività di campo e analitiche**

Settore campionamenti: *Giovanni Cedolini, Alessandro Gurato*

Laboratorio Venezia: *Moreno Dalla Palma, Mauro Grassi, Vittorio Roccabella, Cristina Dell'Olivo, Massimo Berti, Sebastiano Bertini, Gigliola Bruno, Silvia Esposito, Roberta Gavagnin, Fabio Pescatori, Francesca Scardia*

Laboratorio CSMO Voltabarozzo: *Claudio Carrer, Desdemona Oliva, Alessandra Carelse, Fabio Aidone, Maria Costantino, Luca Favaretto, Loretta Gallocchio*

**Controllo qualità**

*Michela Carlon*

**Segreteria**

*Rosanna Cenedese*

**Consorzio Venezia Ricerche**

*Petra Scanferla, Marta Beggio, Stefano Zuin, Davide Vallotto*

*Si ringraziano l'Ing. Roberto Rosselli, la Dott. Elisabetta Pisaroni e la Dott. Elisabetta Tromellini del Servizio Informativo del Magistrato alle Acque per la collaborazione prestata per l'esecuzione del presente studio.*



## Sommario

1. INTRODUZIONE	p.	3
2. PARTE SPERIMENTALE	p.	4
2.1. Campionamento	p.	7
2.1.1. <u>Acque</u>	p.	7
2.1.2. <u>Sedimenti</u>	p.	10
2.1.3. <u>Mitili</u>	p.	10
2.2. Metodiche analitiche	p.	12
2.2.1. <u>Acque</u>	p.	12
2.2.2. <u>Sedimenti</u>	p.	14
2.2.3. <u>Mitili</u>	p.	15
3. RISULTATI DELLE ANALISI DELLE ACQUE	p.	15
3.1. Considerazioni generali sul trattamento statistico dei dati	p.	15
3.2. Lo stato generale delle acque dei rii	p.	16
3.3. L'andamento stagionale delle caratteristiche delle acque dei rii	p.	23
3.4. L'influenza della marea sulle caratteristiche delle acque dei rii	p.	26
3.5. L'influenza dell'idrodinamica sulle caratteristiche delle acque dei rii	p.	28
3.6. I rii più contaminati	p.	31
3.7. Il confronto con gli studi precedenti	p.	39
4. LE CARATTERISTICHE DEI SEDIMENTI DEI RII	p.	45
5. TEST DI BIOACCUMULO SU ORGANISMI FILTRATORI NELLE ZONE LAGUNARI PERIMETRALI AL CENTRO URBANO	p.	54
6. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE	p.	58
BIBLIOGRAFIA	p.	61
APPENDICE	p.	64



## 1. INTRODUZIONE

Le caratteristiche chimico-fisiche e il grado di contaminazione delle acque e dei sedimenti della laguna veneta sono stati oggetto, fin dalla metà del secolo scorso, di numerosi ed approfonditi studi. Ma è soprattutto nell'ultimo decennio, a seguito della definizione da parte del Ministero dell'Ambiente degli obiettivi di qualità delle acque della laguna, che il Magistrato alle Acque ha avviato il monitoraggio sistematico della qualità delle acque lagunari, con l'esecuzione di periodiche campagne analitiche (1, 2, 3, 4) e con la realizzazione di una rete di 10 stazioni fisse in grado di rilevare automaticamente e con elevata frequenza le caratteristiche chimico-fisiche delle acque lagunari (5). Queste attività consentono di seguire l'evoluzione delle caratteristiche chimiche e chimico-fisiche delle acque lagunari e di definire il loro stato chimico, in rapporto agli standard di qualità ambientale stabiliti dalle norme nazionali e comunitarie (6, 7). Questa base di dati, opportunamente elaborata, costituisce uno strumento fondamentale per la definizione delle misure per il raggiungimento del buono stato chimico delle acque lagunari e per l'eliminazione delle sostanze pericolose prioritarie dagli scarichi, così come previsto dalla direttiva comunitaria in materia di acque (8).

Anche le acque dei rii del centro storico di Venezia sono state oggetto, nel passato, di una serie di studi, che tuttavia non hanno mai avuto la completezza e la sistematicità del monitoraggio delle acque lagunari. Nel 1969 Majori et al. hanno eseguito misure di parametri batteriologici (*Escherichia coli*, streptococchi fecali), chimico-fisici (ossigeno disciolto, pH e BOD<sub>5</sub>) e chimici (azoto ammoniacale e nitrico, fosfati) in oltre 25 stazioni, determinando valori minimi, massimi e medi (9). Agli inizi degli anni '70, nell'ambito delle ricerche commissionate dal Comitato per lo studio dei provvedimenti a difesa della città di Venezia ed a salvaguardia dei suoi caratteri ambientali e monumentali, sono state analizzate le stesse classi di parametri e il Ferro in oltre 20 stazioni dei rii interni e delle zone lagunari prospicienti la città (10). Lo studio di Zucchetta del 1983 è consistito in campagne di prelievo e analisi di acque e sedimenti superficiali in 12 rii dei sestieri di S. Polo, Dorsoduro, S. Croce, Castello e S. Marco. I parametri oggetto di indagine nelle acque sono stati il COD, l'azoto ammoniacale, i fosfati e i solidi sospesi totali, mentre sui sedimenti sono stati determinati COD, TKN e fosfati (11). Nel febbraio 1985 sono state fatte misure di nutrienti, pH, salinità e ossigeno disciolto in 5 canali del sestiere di S. Marco (bacino Orseolo, rio dei Farai, rio dei Scoacamini, rio di S. Salvador, rio dei Fuseri) (12). Nel periodo da marzo 1998 a marzo 1999, nell'ambito del progetto Unesco-Murst, è stato eseguito un approfondimento della qualità delle acque e dei sedimenti dei rii in 4 stazioni nel sestiere di Castello, in un'area prossima all'Ospedale Civile di Venezia. Sulle acque sono stati analizzati i macrodescrittori, tra cui azoto, fosforo, carbonio organico totale, e i parametri microbiologici, mentre sui sedimenti sono stati determinati anche alcuni metalli pesanti (Fe, Hg, Pb, Cd) (13). Lo studio più recente è stato condotto nel 2003 dal Comune di Venezia con prelievi d'acqua e analisi in 28 stazioni dei rii del centro storico. I prelievi sono stati eseguiti in corrispondenza dei minimi dei cicli mareali, sia di sizigia che di quadratura. Oltre ai parametri chimico-fisici, sono stati analizzati i metalli pesanti totali (Fe, Mn, Cd, Cu, Pb, Zn), i nutrienti (fosfati, azoto ammoniacale, nitrico e nitroso) e i parametri microbiologici (coliformi totali e fecali, streptococchi fecali) (14).

Per quanto riguarda la contaminazione dei sedimenti dei rii del centro storico, l'attività più recente e completa è stata eseguita dal Comune di Venezia nell'ambito della caratterizzazione propedeutica agli interventi di escavo del Progetto Integrato Rii (1994 – 2003). Sono state raccolte carote di sedimento in 775 punti dei rii interni, ottenendo complessivamente 1067 campioni (775 carote superiori e 292 carote profonde), su cui sono stati determinati i seguenti contaminanti: As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn, Idrocarburi, IPA, PCB e Pesticidi (15).



Le ragioni di questa limitata attenzione degli studiosi nei confronti della qualità ambientale dei rii veneziani rispetto alle acque della laguna dipende dal fatto che la città di Venezia è considerata una fonte secondaria di inquinamento della laguna, se confrontata con altri apporti, quali l'area industriale di Porto Marghera e il bacino scolante (16). Inoltre, la fitta rete dei canali cittadini e la loro complessità idrodinamica richiedono un gran numero di stazioni di monitoraggio e rendono particolarmente onerosa l'esecuzione di campagne di indagine che consentano di pervenire alla definizione dello stato chimico e ambientale delle acque dei rii. Tuttavia, il monitoraggio delle acque dei rii della città di Venezia assume un rilievo particolare, non solo per la definizione dello stato chimico e ambientale ma anche per la valutazione dell'efficacia dell'imponente processo di adeguamento degli scarichi cittadini avviato fin dal 1990 e tuttora in corso di attuazione. E' noto infatti che Venezia non è dotata di un moderno sistema di raccolta e smaltimento dei reflui e che il recapito finale delle acque usate, sia di natura civile che industriale, sono i rii cittadini dove i reflui subiscono processi di sedimentazione, chimici e biologici che in parte abbattano le sostanze inquinanti. La legge 71/90 e le successive modificazioni e integrazioni hanno stabilito che, fino a quando non saranno realizzate le fognature dinamiche in grado di collettare i reflui cittadini e trasferirli ad un impianto di depurazione centralizzato, il trattamento degli scarichi del centro storico deve avvenire mediante impianti individuali. Fino ad oggi, sono stati realizzati oltre 6400 impianti di tipo primario (fosse settiche e vasche condensa grassi), 130 piccoli impianti di depurazione biologica sviluppati specificamente per il particolare contesto veneziano e 34 impianti di tipo chimico-fisico al servizio di aziende artigiane e produttive. Secondo il censimento degli scarichi dell'Ufficio Antinquinamento del Magistrato alle Acque (UTA), si stima che il processo di adeguamento degli scarichi con questi sistemi decentralizzati abbia superato il 50 per cento (17).

Considerato l'avanzato stato di attuazione di questo processo, che ha comportato un notevole impegno economico da parte dei soggetti, sia pubblici che privati, tenuti a realizzare le opere, il Magistrato alle Acque ha ritenuto di primaria importanza avviare un monitoraggio approfondito delle acque dei rii, non solo per migliorare lo stato delle conoscenze sulle condizioni ambientali di questo particolare sistema idrico, ma anche per poter verificare gli effetti degli interventi di adeguamento finora realizzati sulla qualità delle acque e per evidenziare eventuali situazioni di criticità, individuando le migliori misure per farvi fronte.

## **2. PARTE SPERIMENTALE**

Il monitoraggio si è svolto dal giugno 2008 al luglio 2009 e ha interessato 38 stazioni dei rii interni veneziani e 10 stazioni lagunari, di cui 6 intorno al centro abitato e 4 in corrispondenza delle stazioni fisse di monitoraggio automatico della qualità delle acque della laguna della rete SAMANET. L'attività si è articolata in 2 campagne di misura per le acque (estiva e invernale) e in una campagna per i sedimenti, eseguita contestualmente alla campagna estiva delle acque. L'attività nelle stazioni esterne ha interessato anche valutazioni sulle caratteristiche di bioaccumulo di microinquinanti persistenti negli organismi (mitili). Nella scelta delle stazioni dei rii interni si è cercato di coprire l'intera area della città e, per quanto possibile, di selezionare punti coincidenti o prossimi a quelli già oggetto di indagini precedenti in modo da poter verificare, negli stessi punti o in zone vicine, eventuali variazioni della qualità delle acque rispetto al passato. Tutte le analisi sono state eseguite nei laboratori del Magistrato alle Acque di Venezia e Voltabarozzo (PD), entrambi accreditati per la maggior parte dei parametri analizzati (certificato ACCREDIA n. 268 e n. 680, rispettivamente). In Figura 1, con il contrassegno nero numerato sono riportati i 38 punti di prelievo delle acque e dei sedimenti dei rii interni relativi al presente studio; con gli indicatori di colore rosso sono individuati i 9 punti relativi alla campagna del 1971, mentre la colorazione gialla indica i 12 punti



di prelievo dello studio del 1983; i 4 contrassegni verdi sono relativi allo studio del 1999 e, infine, quelli bianchi indicano i 28 punti di prelievo della campagna del 2003.

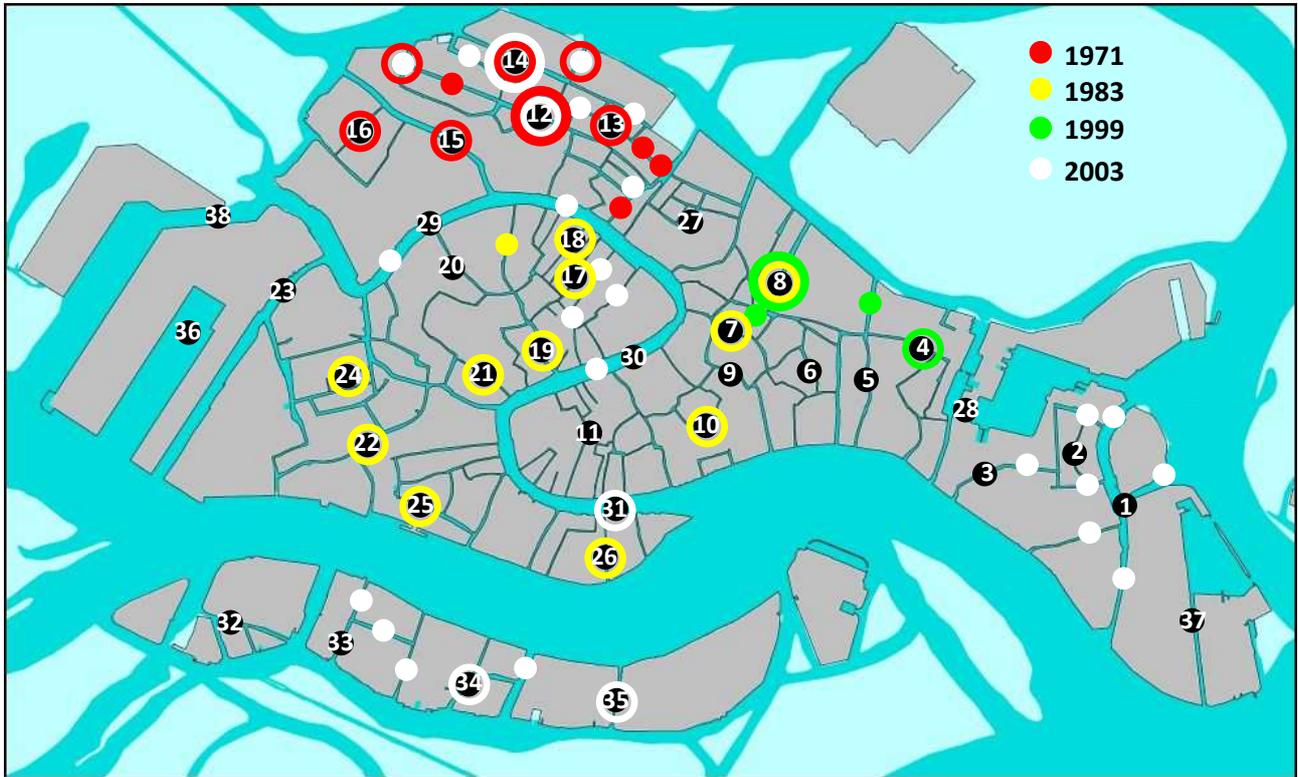
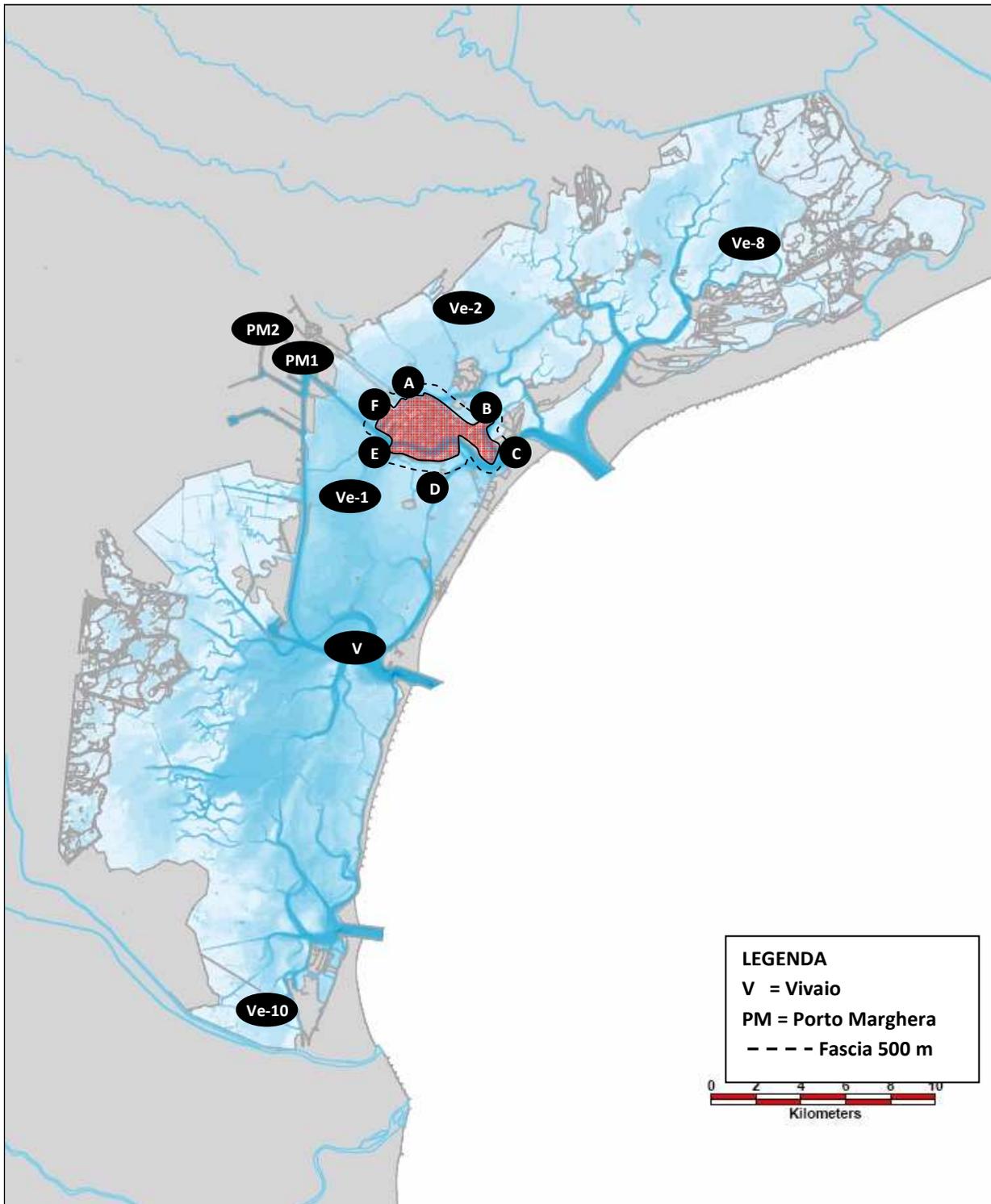


Figura 1. Ubicazione delle stazioni di misura dei rii interni del presente studio (contrassegno nero numerato) e degli studi precedenti.



**Figura 2. Ubicazione delle stazioni di misura lagunari del presente studio.**

I punti di controllo lagunari, indicati in Figura 2, comprendono 6 stazioni perimetrali poste ad una distanza di 500 metri dalla città (stazioni da A a F) e 4 stazioni in laguna aperta in corrispondenza delle stazioni fisse Ve-1, Ve-2, Ve-8 e Ve-10 della rete SAMANET. In queste stazioni, oltre alle campagne di prelievo delle acque e dei sedimenti condotte con le stesse modalità adottate per il centro storico, sono state eseguite misure di bioaccumulo dei contaminanti organici persistenti in mitili trapiantati, prelevati da un vivaio



autorizzato (stazione V). La prima campagna di bioaccumulo si è svolta da giugno 2008 a settembre 2008 e la seconda campagna da marzo 2009 a luglio 2009. A titolo di confronto, le misure di bioaccumulo sono state eseguite anche in 2 stazioni ubicate nella zona industriale di Porto Marghera (stazioni PM1-Canale Brentella e PM2-Canale Industriale Ovest).

## 2.1. Campionamento

Il prelievo dei campioni di acque e sedimenti è stato eseguito da personale del Consorzio Venezia Ricerche, su incarico del Servizio Informativo del Magistrato alle Acque e sotto la direzione e il coordinamento del Settore Campionamenti del laboratorio UTA, mentre l'attività sul biota è stata svolta direttamente dal Settore Campionamenti UTA.

2.1.1. Acque - L'attività sulle acque si è articolata in due campagne, una estiva (dal 9 giugno al 6 agosto 2008) e una invernale (dal 28 gennaio al 12 marzo 2009). Le campagne sono state condotte in condizioni di sизigia eseguendo, in ciascun punto, i prelievi e i controlli nelle fasi di minimo e di massimo livello di marea di ciascuna giornata. Le informazioni relative all'ubicazione e alle condizioni di prelievo dei 192 campioni d'acqua raccolti sono riportate nella seguente Tabella 1. Tutti i prelievi sono stati effettuati da imbarcazione attrezzata, raccogliendo i campioni ad una profondità media di 50 cm dal pelo libero dell'acqua.

Il campionamento è avvenuto seguendo le procedure di dettaglio al Metodo APAT CNR IRSA 1030 Man 29 2003 sviluppate dal laboratorio UTA, utilizzando sistemi di prelievo e contenitori differenziati in relazione ai parametri da determinare, secondo quanto previsto dai relativi metodi analitici.

I campioni destinati all'analisi dei metalli e all'analisi batteriologica sono stati prelevati con un sistema in grado di raccogliere il campione direttamente nella bottiglia di campionamento alla profondità prestabilita (campionatore "grab", Figura 3). Per la raccolta dei campioni per l'analisi dei metalli sono state utilizzate bottiglie in polietilene certificate esenti da metalli, mentre per l'analisi batteriologica sono stati impiegati contenitori sterili monouso. Al fine di prevenire la possibilità di contaminazione dei campioni destinati all'analisi dei metalli da parte degli operatori, è stata adottata la procedura di campionamento "mani sporche/mani pulite" descritta nel Metodo EPA 1669 (18). I campioni per l'analisi dei metalli totali sono stati acidificati sul campo con  $\text{HNO}_3$ , mentre i campioni per l'analisi dei metalli disciolti sono stati filtrati in laboratorio su membrana di porosità  $0.45 \mu\text{m}$ , all'interno della "clean room" di cui è dotato il laboratorio (Figura 4).



**Figura 3. Campionatore “grab” utilizzato per la raccolta dei campioni d’acqua per le analisi microbiologiche. Il campionatore per i metalli opera con lo stesso principio, ma è interamente in materiale plastico.**



**Figura 4. Fasi di trattamento dei campioni delle acque dei rii all’interno della “clean room” del laboratorio di Venezia.**



**Tabella 1. Localizzazione e tempistica dei prelievi dei campioni di acqua nel corso del presente studio (A.M. Alta Marea, B.M. Bassa Marea)**

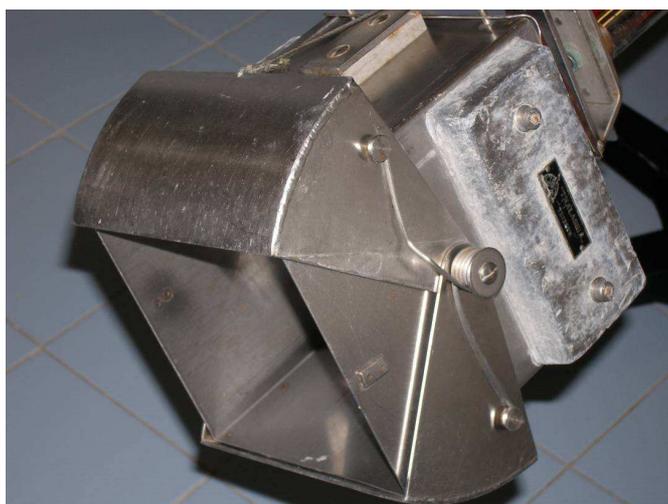
N.	Nome rio/canale	COORDINATE		CAMP. ESTIVA 2008			CAMP. INVERNALE 2009		
		E	N	Data	A.M.	B.M.	Data	A.M.	B.M.
					Ora	Ora		Ora	Ora
1	S. Pietro	2313428	5034315	20/06/08	14.30	7.46	28/01/09	12.27	17.47
2	S. Daniele	2313277	5034653	20/06/08	13.58	7.24	28/01/09	12.17	17.23
3	Tana	2312833	5034453	23/06/08	14.29	7.13	26/02/09	11.40	17.15
4	S. Francesco	2312546	5035019	20/06/08	12.58	5.51	26/02/09	11.08	16.35
5	Pietà	2312426	5034807	09/06/08	15.33	9.01	26/02/09	10.28	16.52
6	Tette	2312179	5035062	09/06/08	15.59	9.51	26/02/09	9.49	16.20
7	Piombo	2311935	5035042	24/07/08	14.08	8.30	09/03/09	10.49	15.46
8	Mendicanti	2312029	5035188	24/07/08	13.48	7.54	09/03/09	11.29	16.10
9	Guerra	2311866	5034905	24/07/08	14.24	9.28	09/03/09	10.23	19.15
10	Procuratie	2311741	5034667	24/07/08	14.45	10.00	09/03/09	10.07	15.16
11	Santissimo	2311254	5034546	09/07/08	13.28	8.12	10/03/09	11.30	15.43
12	Ormesini	2311079	5035926	26/06/08	17.06	10.30	25/02/09	12.07	19.16
13	Sensa	2311405	5035875	26/06/08	16.34	10.01	25/02/09	12.23	19.36
14	Riformati	2311067	5036127	25/06/08	16.48	9.53	25/02/09	11.43	19.15
15	Cannaregio	2310790	5035785	25/06/08	16.13	8.40	23/02/09	10.50	16.34
16	S. Giobbe	2310356	5035862	25/06/08	16.31	9.03	23/02/09	10.36	16.17
17	Pergola	2311278	5035411	23/07/08	12.21	7.08	26/02/09	12.05	15.27
18	Ca' Tron	2311135	5035462	23/07/08	12.47	7.59	26/02/09	11.53	15.13
19	S. Polo	2311074	5035066	09/07/08	14.03	9.16	26/02/09	12.41	15.46
20	Marin	2310840	5035236	23/07/08	13.18	8.59	23/02/09	11.30	17.08
21	Frescade	2310889	5034864	09/07/08	13.50	8.46	10/03/09	10.51	15.15
22	Carmini	2310434	5034628	10/06/08	15.38	10.54	06/02/09	11.44	15.25
23	Scomensera	2310084	5035229	04/07/08	13.33	6.31	06/02/09	11.03	14.59
24	S.M. Maggiore	2310230	5034799	10/06/08	15.03	10.05	06/02/09	11.21	15.15
25	Ognissanti	2310648	5034335	10/06/08	16.13	11.36	06/02/09	12.06	15.45
26	Fornase	2311363	5034162	23/06/08	15.56	8.39	10/03/09	12.16	16.46
27	Priuli	2311677	5035469	26/06/08	16.21	9.35	25/02/09	12.49	19.55
28	Arsenale	2312850	5034720	20/06/08	13.20	6.43	28/01/09	11.33	16.57
29	C. Grande	2310654	5035462	05/08/08	13.19	9.36	23/02/09	11.14	16.52
30	C. Grande	2311454	5034931	05/08/08	12.41	9.00	26/02/09	12.22	17.16
31	C. Grande	2311393	5034317	05/08/08	12.19	8.25	10/03/09	11.55	16.16
32	S. Gerardo	2309880	5033869	24/06/08	16.19	9.14	05/02/09	10.55	15.26
33	F.ta Giudeca	2310303	5033797	24/06/08	15.41	8.43	05/02/09	11.36	15.45
34	C. Curame	2310784	5033594	24/06/08	15.32	8.10	05/02/09	11.58	16.07
35	Croce	2311409	5033573	24/06/08	14.49	7.28	05/02/09	12.28	16.46
36	Marittima	2309741	5035050	04/07/08	13.06	5.54	12/02/09	12.30	18.03
37	Stadio	2313733	5033869	23/06/08	15.05	7.45	28/01/09	11.53	18.13
38	Tronchetto	2309690	5035514	04/07/08	12.35	5.05	11/02/09	11.20	17.03
A	S. Secondo	2309740	5036549	22/07/08	14.28	9.38	11/02/09	11.58	17.30
B	Navi	2314130	5035366	08/07/08	12.57	7.43	12/02/09	10.43	16.43
C	Certosa	2314325	5034218	08/07/08	12.57	8.19	12/02/09	11.09	17.03
D	Fasiol	2310481	5032575	08/07/08	14.10	9.20	12/02/09	11.58	17.37
E	Fusina	2308787	5033764	06/08/08	14.10	7.52	11/02/09	11.58	16.27
F	V. Emanuele	2308404	5035243	22/07/08	15.09	10.06	11/02/09	11.39	16.40
Ve-1	Fusina	2306706	5032565	06/08/08	13.53	8.20	12/03/09	10.28	16.29
Ve-2	Campalto	2311679	5038699	22/07/08	13.56	9.01	12/03/09	10.49	16.29
Ve-8	P. Maggiore	2323744	5042185	22/07/08	13.23	7.29	11/03/09	11.30	15.30
Ve-10	V. Brenta	2303460	5010320	06/08/08	12.41	9.43	12/03/09	12.37	15.28



I campioni per l'analisi dei nutrienti sono stati filtrati sul campo mediante un sistema automatico di filtrazione su membrane in acetato di cellulosa di porosità 0.45  $\mu\text{m}$ , anch'esso preventivamente avvinato. Tutti i campioni raccolti nel corso di ciascuna giornata sono stati conservati in contenitori termici refrigerati e trasferiti senza ritardo ai laboratori per l'inizio delle analisi.

Contestualmente alle operazioni di prelievo dei campioni, sono state eseguite misure sul campo dei principali parametri chimico-fisici (temperatura, salinità, pH, ossigeno disciolto, torbidità, clorofilla a) mediante una sonda multiparametrica mod. Ocean Seven 316 della ditta Idronaut.

2.1.2. Sedimenti – La campagna dei sedimenti è stata condotta nel periodo dal 9 giugno al 6 agosto 2008, contestualmente alla prima campagna di prelievo delle acque, e ha interessato le medesime stazioni (Tabella 1). I campioni di sedimento superficiale sono stati prelevati con una benna in acciaio tipo “Van Veen” con capacità di penetrazione di circa 15 cm e volume di circa 2 litri (Figura 5). In ciascuna stazione sono stati prelevati 3 campioni di sedimento, che sono stati miscelati tra loro in un contenitore in plastica per formare un unico campione medio che, a sua volta, è stato trasferito in un contenitore in vetro da 1 kg. I campioni medi raccolti in ciascuna stazione sono stati liofilizzati in laboratorio e mantenuti in congelatore a  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  fino al momento delle analisi.



**Figura 5. Immagine della benna utilizzata per la raccolta dei sedimenti. La benna è dotata di asta telescopica con telecomando per la chiusura delle ganasce.**

2.1.3. Mitili – Le misure di bioaccumulo dei mitili si sono articolate in due campagne, consistite nella raccolta di organismi da un allevamento lagunare autorizzato posto in prossimità della bocca di porto di Malamocco (località Alberoni) e nel loro trapianto nei punti prestabiliti per un tempo di circa variabile da 9 a 12 settimane. I mitili da trapiantare in ciascuna stazione (da 150 a 200 individui circa) sono stati inseriti in una rete in nylon e trasferiti nelle stazioni di trapianto, dove sono stati assicurati a punti fissi (“briccole” o pali) e immersi in acqua ad una profondità di circa 1 – 1,5 metri. Nella prima campagna estiva (giugno 2008 – settembre 2008), i mitili sono stati trapiantati nelle stazioni lagunari perimetrali (punti da A a F) e nelle stazioni Ve-1 e Ve-2 della rete SAMANET, mentre nella seconda campagna (marzo 2009 - luglio 2009) i mitili sono stati trapiantati anche in due stazioni della zona industriale (stazioni PM1-Canale Brentella e PM2-Canale Industriale Ovest). Per valutare i risultati delle analisi chimiche e permettere il confronto qualitativo di eventuali contaminanti accumulati dagli organismi trapiantati è stato prelevato, in entrambe le campagne, un campione di riferimento della stazione V. Allo scadere del periodo di permanenza, gli



organismi sono stati recuperati e trasportati in laboratorio in contenitori refrigerati per le analisi. Nella Figura 6 viene mostrata la fase di recupero della rete dei mitili trapiantati in una delle stazioni.



**Figura 6 . Recupero della calza contenente i mitili trapiantati.**

Va segnalato che non è stato possibile recuperare, da tutte le stazioni, i campioni dei mitili trapiantati. Infatti, nella prima campagna il cavo di sostegno dei mitili posizionati nelle stazioni E e Ve-2 è stato reciso, mentre i mitili della stazione Ve-1 sono risultati tutti morti al termine del periodo di trapianto. Anche nella seconda campagna i cavi di supporto dei mitili delle stazioni C, E ed F risultavano recisi, mentre ci si è accorti che, già dopo pochi giorni dal posizionamento, i mitili della stazione Ve-2 erano stati sottratti. Per questo motivo, si è provveduto a riposizionare un nuovo campione di mitili non più nella stazione Ve-2 ma in corrispondenza della vicina “bricola” 167 del Canale di Tessera. Inoltre, il numero di individui recuperati nelle stazioni Ve-1 e PM2 nella seconda campagna è risultato troppo esiguo per poter considerare questi campioni rappresentativi; nel primo caso (Ve-1) si è verificata la perdita accidentale del contenuto della rete nella fase di recupero, mentre nel secondo caso (stazione PM2 - Canale Industriale Ovest) la maggior parte degli organismi era morta.

In laboratorio, gli organismi sono stati puliti, misurata la lunghezza delle valve e sgusciati. La parte molle degli organismi vivi di ciascuna stazione di campionamento è stata raccolta in “pool” e liofilizzata in contenitori di vetro silanizzati. I campioni liofilizzati sono stati conservati in congelatore a  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  fino al momento delle analisi.

Nelle tabelle seguenti vengono riportate le informazioni relative alla localizzazione delle stazioni di raccolta dei mitili, al numero di organismi vivi di ciascun campione, alla loro dimensione e l'indice di mortalità. La parte superiore di Tabella 2 si riferisce alla prima campagna, mentre la parte inferiore alla seconda campagna.



**Tabella 2. 1<sup>a</sup> Campagna e 2<sup>a</sup> Campagna. Localizzazione delle stazioni di trapianto per le prove di bioaccumulo e caratteristiche dei mitili recuperati da ciascuna stazione**

1 <sup>a</sup> CAMPAGNA DI TRAPIANTO (giugno – settembre 2008)								
Stazione	Localizzazione	Coordinate		Data trapianto	N. giorni	N. individui recuperati vivi	Mortalità %	Lunghezza min-max valve (cm)
		E	N					
A	Can. S. Secondo	2309728	5036528	23.06.08	82	187	13	3-7.5
B	Canale Marani	2314132	5035596	23.06.08	82	174	1	2-7
C	Isola Certosa	2314343	5034115	23.06.08	82	164	4	4-6.1
D	Canale Fasiol	2310490	5032549	23.06.08	82	196	2	3.8-7.5
E	Canale di Fusina	2308796	5033734	23.06.08	-	-	-	-
F	Can. Vitt. Eman.	2304054	5035216	23.06.08	82	184	1	4.2-7.5
Ve-1	Fusina	2306706	5032565	23.06.08	82	-	100	-
Ve-2	Campalto	2311679	5038699	23.06.08	-	-	-	-
V1	Vivaio Alberoni	2308482	5024939	-	-	n.d.	n.d.	n.d.
2 <sup>a</sup> CAMPAGNA DI TRAPIANTO (marzo – luglio 2009)								
Stazione	Localizzazione	Coordinate		Data trapianto	N. giorni	N. individui recuperati vivi	Mortalità %	Lunghezza min-max valve (cm)
		E	N					
A	Can. S. Secondo	2309728	5036528	25.03.09	110	204	2	5-7.7
B	Canale Marani	2314132	5035596	25.03.09	110	222	1	4-7.5
C	Isola Certosa	2314343	5034115	25.03.09	-	-	-	
D	Canale Fasiol	2310490	5032549	25.03.09	110	197	1	4-7.5
E	Canale di Fusina	2308796	5033734	25.03.09	-	-	-	-
F	Can. Vitt. Eman.	2304054	5035216	25.03.09	-	-	-	-
Ve-1	Fusina	2309728	5036528	26.03.09	111	11	0	4-8
B. 167	Campalto	2312142	5038983	08.04.09	96	164	4	4-6
PM1	Canale Brentella	2305959	5038221	26.03.09	111	164	2	5-8
PM2	Can. Ind. Ovest	2304054	5039237	26.03.09	111	226	89	5-8
V2	Vivaio Alberoni	2308482	5024939	-	-	175	-	3-8

## 2.2. Metodiche analitiche

### 2.2.1. Acque

Una volta pervenuti in laboratorio, i campioni sono stati conservati in frigorifero a + 4 °C e analizzati nel più breve tempo possibile, e comunque entro i termini previsti dai metodi analitici.

I metodi analitici e il campo di applicazione dei parametri determinati sulle acque sono riportati in Tabella 3. Nell'Appendice è riportato un breve glossario con l'indicazione delle principali caratteristiche dei parametri ricercati.



Tabella 3. Metodi analitici e campo di applicazione dei parametri oggetto di indagine sulle acque dei rii

PARAMETRO	METODO	CAMPO DI APPLICAZIONE ( $\mu\text{g/L}$ )
Azoto nitroso	APAT CNR IRSA 4050 Man 29 2003	2-40
Azoto nitrico	APHA, ed 21 <sup>st</sup> 2005, 4500-NO <sub>3</sub> I	20-400
Azoto ammoniacale	APHA, ed 21 <sup>st</sup> 2005, 4500-NH <sub>3</sub> F	10-200
Azoto totale disciolto	APHA, ed 21 <sup>st</sup> 2005, 4500-P J+4500-NO <sub>3</sub> I	30-400
Ortofosfato	APAT CNR IRSA 4110 A1 Man 29 2003	5-100
Fosforo totale disciolto	APHA, ed 21 <sup>st</sup> 2005, 4500-P J+ APAT CNR IRSA 4110 A1 Man 29 2003 (Campagna estiva 2008)	10-60
	Unichim 2252:2008 (Campagna invernale 2009)	10-60
As disciolto	EPA 6020 A 2007	0.2-3
Hg disciolto	EPA 6020 A 2007	0.005-0.05
Cd disciolto	EPA 6020 A 2007	0.02-0.4
Sb disciolto	EPA 6020 A 2007	0.1-2
Pb disciolto	EPA 6020 A 2007	0.1-2
Ni disciolto	EPA 6020 A 2007	0.5-10
Mn disciolto	EPA 6020 A 2007	1-20
V disciolto	EPA 6020 A 2007	0.1-2
Cr <sub>tot</sub> disciolto	EPA 6020 A 2007	0.1-2
Cu disciolto	EPA 6020 A 2007	0.5-10
Fe disciolto	EPA 6020 A 2007	1-20
Zn disciolto	EPA 6020 A 2007	1-20
As totale	EPA 3015 A 2007 + EPA 6020 A 2007	0.2-3
Hg totale	EPA 3015 A 2007 + EPA 6020 A 2007	0.005-0.05
Cd totale	EPA 3015 A 2007 + EPA 6020 A 2007	0.02-0.4
Sb totale	EPA 3015 A 2007 + EPA 6020 A 2007	0.1-2
Pb totale	EPA 3015 A 2007 + EPA 6020 A 2007	0.1-2
Ni totale	EPA 3015 A 2007 + EPA 6020 A 2007	0.5-10
Mn totale	EPA 3015 A 2007 + EPA 6020 A 2007	1-20
V totale	EPA 3015 A 2007 + EPA 6020 A 2007	0.1-2
Cr <sub>tot</sub> totale	EPA 3015 A 2007 + EPA 6020 A 2007	0.1-2
Cu totale	EPA 3015 A 2007 + EPA 6020 A 2007	0.5-10
Fe totale	EPA 3015 A 2007 + EPA 6020 A 2007	1-20
Zn totale	EPA 3015 A 2007 + EPA 6020 A 2007	1-20
TOC	APHA, ed 21 <sup>st</sup> 2005, 5310 C	500-8000
DOC	APHA, ed 21 <sup>st</sup> 2005, 5310 C	500-8000
BOD <sub>5</sub>	APAT CNR IRSA 5120 Man 29 2003	$\geq 500$
MBAS	APAT CNR IRSA 5170 Man 29 2003	50-2000
Idrocarburi totali	APAT CNR IRSA 5160 B2 Man 29 2003	$\geq 300$



**Segue Tabella 3. Metodi analitici e campo di applicazione dei parametri oggetto di indagine sulle acque dei rii**

PARAMETRO	METODO	CAMPO DI APPLICAZIONE ( $\mu\text{g/L}$ )
VOC	EPA 5030 C 2003 + EPA 8260 C 2006	0.4-40
<i>Escherichia coli</i>	APAT CNR IRSA 7030 F Man 29 2003	0-150 UFC/100 ml
PCDD/PCDF	EPA 1613 B 1994	$\geq 0.00000025$
PCB-DL	EPA 1668 A 1999	$\geq 0.000002$
PCB	EPA 1668 A 1999	$\geq 0.000002$
Esaclorobenzene	MPI 003 Rev 0 (Metodo interno)	$\geq 0.00002$
PBDE	EPA 1614 2007	$\geq 0.00005$
IPA	EPA 3510 C 1996 + EPA 8270 D 2007	$\geq 0.005$
Idrocarburi clorurati	EPA 3510 C 1996 + EPA 8270 D 2007	$\geq 0.020$
Pesticidi Organoclorurati	EPA 3510 C 1996 + EPA 8270 D 2007	$\geq 0.020$
Fenoli	EPA 3510 C 1996 + EPA 8270 D 2007	$\geq 0.020$
Ftalati	EPA 3510 C 1996 + EPA 8270 D 2007	$\geq 0.020$

**2.2.2. Sedimenti**

Sui sedimenti sono stati determinati i seguenti contaminanti riportati in Tabella 4.

**Tabella 4. Parametri determinati sui sedimenti**

CONTAMINANTI INORGANICI		CONTAMINANTI ORGANICI	
Arsenico	As	Benzo(a)Pirene	
Cadmio	Cd	Benzo(b)Fluorantene	
Mercurio	Hg	Benzo(k)Fluorantene	
Antimonio	Sb	Benzo(g,h,i)Perilene	
Piombo	Pb	Indenopirene	
Nichel	Ni	Antracene	
Manganese	Mn	Fluorantene	
Vanadio	V	Naftalene	
Cromo totale	Cr <sub>tot</sub>	IPA totali	
Rame	Cu	Esaclorobenzene	HCB
Ferro	Fe	Policlorodibenzodiossine/Policlorodibenzofurani	PCDD/PCDF
Zinco	Zn	Policlorobifenili	PCB
		2-bis Etiesilftalato	

*Analisi dei metalli e contaminanti inorganici* - Dopo omogeneizzazione dei sedimenti liofilizzati, un'aliquota di ciascun campione (0.1 – 0.2 g) è stata sottoposta a digestione con acido cloridrico e acido nitrico secondo il metodo EPA 3051A 2007 e successiva analisi con il metodo EPA 6010C 2007, utilizzando la tecnica ICP-OES per tutti gli analiti ad eccezione del cadmio e del mercurio. Per questi ultimi è stata impiegata la tecnica di analisi in assorbimento atomico, accoppiata con la tecnica a vapori freddi per il mercurio. Per tutti i campioni analizzati sono stati applicati i criteri di controllo previsti dai metodi, che comprendono analisi in duplicato e analisi di recupero.

*Analisi dei contaminanti organici* – Dopo omogeneizzazione, un'aliquota di sedimento di ciascun campione (3 – 5 g) è stata sottoposta ai seguenti trattamenti:



- estrazione con ASE (Accelerated Solvent Extraction);
- preconcentrazione e purificazione in ambiente acido mediante retroestrazione acido/base);
- purificazione e separazione delle diverse frazioni (PCDD/PCDF, PCB e PBDE) mediante strumento PowerPrep;
- concentrazione finale.

Per l'analisi delle policlorodibenzodiossine e policlorodibenzofurani (PCDD/PCDF) è stato utilizzato il metodo, EPA 1613B 1994, per l'analisi dei policlorobifenili (PCB) il metodo EPA 1668A 1999 e per l'analisi dei polibromodifenileteri (PBDE) il metodo EPA 1614 2007. Per tutti gli analiti, il sistema strumentale è costituito da un gascromatografo HP 6890N accoppiato ad uno spettrometro di massa Waters Autospec Premier, operante in modalità EI a 35 eV con una risoluzione di 10000 (5% valley) per PCDD/PCDF e PCB e operante in modalità EI a 35 eV con una risoluzione di 5000 (5% valley) per PBDE.

### 2.2.3. Mitili

L'analisi dei mitili ha riguardato solo i microinquinanti organici PCDD/PCDF, PCB e PBDE. Dopo omogeneizzazione, un'aliquota di sedimento di ciascun campione (5 – 10 g) è stata sottoposta ai seguenti trattamenti:

- estrazione con ASE (Accelerated Solvent Extraction);
- preconcentrazione e purificazione in ambiente acido, mediante passaggio su colonna acida;
- purificazione e separazione delle diverse frazioni (PCDD/PCDF, PCB e PBDE) mediante strumento PowerPrep;
- concentrazione finale.

Per l'analisi delle policlorodibenzodiossine e policlorodibenzofurani (PCDD/PCDF) è stato utilizzato il metodo, EPA 1613B 1994, per l'analisi dei policlorobifenili (PCB) il metodo EPA 1668A 1999 e per l'analisi dei polibromodifenileteri (PBDE) il metodo EPA 1614 2007. Per tutti gli analiti, il sistema strumentale è costituito da un gascromatografo HP 6890N accoppiato ad uno spettrometro di massa Waters Autospec Premier, operante in modalità EI a 35 eV con una risoluzione di 10000 (5% valley) per PCDD/PCDF e PCB e operante in modalità EI a 35 eV con una risoluzione di 5000 (5% valley) per PBDE.

## 3. RISULTATI DELLE ANALISI DELLE ACQUE

Nel presente capitolo vengono presentati i risultati della campagna delle acque dei rii del centro storico oggetto del presente studio, eseguita da giugno 2008 a marzo 2009. Oltre alla descrizione delle caratteristiche generali delle acque dei rii e della loro dipendenza dalle principali variabili, quali la stagionalità, l'andamento della marea e la velocità di corrente, viene presentato un confronto con i risultati degli studi pregressi sullo stesso argomento.

### 3.1. Considerazioni generali sul trattamento statistico dei dati

L'analisi statistica dei dati relativi all'analisi delle acque ha permesso di distinguere due gruppi di parametri, che si differenziano per il tipo di distribuzione delle variabili. Da una parte i nutrienti ed i metalli, che mostrano una distribuzione approssimativamente normale, dall'altra i composti organici la cui distribuzione non è approssimabile ad una normale.

Questo tipo di struttura ha suggerito un diverso trattamento dei due gruppi di parametri, sia per la valutazione dei dati estremi o anomali, sia per le valutazioni ed interpretazioni delle differenze tra i diversi gruppi di campioni (ambito geografico, condizioni mareali e stagionali).



Per i parametri la cui distribuzione è assimilabile ad una normale è stata eseguita una valutazione quantitativa dei valori estremi (outlier), escludendo i valori che sono risultati superiori all'ampiezza del "box" definito dai valori di 25° e 75° percentile moltiplicato per un coefficiente 3. Questa scelta deriva dall'impossibilità, considerate le modalità esecutive del monitoraggio, di sviluppare un'indagine approfondita degli eventi estremi e puntuali e di garantire, nel contempo, che il confronto tra le caratteristiche chimiche delle acque monitorate nelle diverse distribuzioni spaziali e nelle condizioni stagionali e mareali fosse quanto più possibile al netto di fenomeni anomali ed infrequenti.

Per i dati relativi ai parametri organici che, come detto, sono caratterizzati da una distribuzione non normale (essenzialmente a causa dell'alta frequenza di misure al di sotto del limite di quantificazione), sono stati esclusi i valori massimi occorsi con bassa frequenza e caratterizzati da ordini di grandezza molto superiori all'andamento generale.

I confronti tra i gruppi individuati per distribuzione spaziale, condizione stagionale e mareale, sono stati effettuati mediante test statistici, parametrici e non parametrici, in ragione della distribuzione delle variabili: per i nutrienti e metalli è utilizzato il *Test t* per valutare le differenze tra le medie dei vari gruppi, mentre per i parametri organici è stato eseguito il *Test Kruskal-Wallis* per valutare le differenze tra gruppi mediante l'analisi dei ranghi.

I valori medi, massimi e minimi e i coefficienti statistici di deviazione standard e coefficiente di variazione (CV%) di tutte le stazioni dei rii e della fascia perimetrale di 500 metri sono riportati nell'Appendice (Tabelle A - D).

### 3.2. Lo stato generale delle acque dei rii

In Tabella 5/1-2 sono riportati i valori medi, relativi all'intero studio, delle caratteristiche chimico-fisiche e batteriologiche delle acque dei rii del centro storico, delle aree lagunari limitrofe (fascia di 500 m) e delle stazioni Ve-1, Ve-2, Ve-8 e Ve-10. Questi valori sono stati messi a confronto con i valori medi del monitoraggio mensile SAMA e MELa4 delle acque lagunari relativi ai periodi corrispondenti all'esecuzione dello studio (mesi di Giugno, Luglio e Agosto del 2008 e Gennaio, Febbraio e Marzo del 2009), escludendo le stazioni prossime alle principali sorgenti di contaminazione (centri urbani di Venezia e Chioggia, isole e litorali e l'area industriale di Porto Marghera). Inoltre, nella stessa tabella sono riportati i valori di riferimento degli obiettivi di qualità imperativi per la laguna di Venezia stabiliti dal D.M. 23 aprile 1998 (decreto "Ronchi-Costa") e gli standard di qualità ambientale per le acque di transizione stabiliti per tutti i corpi idrici dal D.M. 56/2009. Va segnalato che non per tutti i parametri i metodi analitici applicati sono caratterizzati da limiti di quantificazione (LOD) idonei per il confronto con gli obiettivi e gli standard di qualità. Pertanto, il confronto con tali valori di riferimento è stato possibile solo per quei parametri che sono risultati misurabili.

Nella tabella è stata inserita una colonna di confronto statistico tra i valori medi dei diversi parametri misurati all'interno dei rii, nelle zone perimetrali (città - 500 m) e nella laguna aperta (città - laguna), al fine di evidenziare le classi di parametri che hanno valori significativamente diversi nelle diverse aree. Il confronto, espresso come livello di probabilità di appartenere a gruppi campionari diversi, è stato espresso con i simboli "\*", "\*\*" e "\*\*", che indicano livelli di fiducia rispettivamente del 95%, 99% e 99,9%; maggiore è il numero di asterischi, maggiori sono le differenze tra i valori rilevati nelle diverse zone, mentre la notazione "n.s." indica differenze non significative. Come si può osservare, le classi di parametri che presentano le maggiori differenze tra il centro storico e le altre aree sono i macrodescrittori, l'*Escherichia coli*, alcuni metalli (Hg, Pb, Zn, Mn), i composti aromatici, i fenoli, i PCB e alcuni IPA.



Tabella 5/1. Concentrazioni medie dei macrodescrittori e dei metalli disciolti nelle acque dei rii, delle stazioni comprese in una fascia di 500 m dalla città di Venezia e delle stazioni lagunari Fusina Ve-1, Campalto Ve-2, Palude Maggiore Ve-8 e Val di Brenta Ve-10.

PARAMETRO	Unità di misura	CONCENTRAZIONE MEDIA									CONFRONTO STATISTICO	
		CITTA'	AREA 500 m	Ve-1	Ve-2	Ve-8	Ve-10	SAMA	O.Q.I. D.M. 23/04/98	SQA-MA D.M.56/09	CITTA'-500 m	CITTA'-LAGUNA
TOC	µg/L	2125	1879	2425	2700	2025	2433	3677	-	-	n.s.	***
DOC	µg/L	1756	1567	1900	2025	1525	2000	2765	-	-	n.s.	***
BOD <sub>5</sub>	µg/L	1795	1579	1975	2775	1200	2300	-	2800	-	n.s.	-
N-NO <sub>2</sub>	µg/L	15	10	14	16	7	6	16	-	-	***	n.s.
N-NO <sub>3</sub>	µg/L	346	320	350	348	258	195	278	-	-	n.s.	n.s.
N-NH <sub>4</sub>	µg/L	259	100	160	148	45	65	107	-	-	***	***
TDN	µg/L	858	628	660	753	465	445	694	350	-	**	**
P-PO <sub>4</sub>	µg/L	35	9	17	3	1	2	14	-	-	***	***
TDP	µg/L	41	12	27	9	5	5	19	25	-	***	***
O <sub>2</sub>	% sat.ne	86	104	82,5	104,9	89,9	93	97	-	-	***	***
Torbidità	FTU	27	27	32,6	19,6	11,4	39,1	21,8	-	-	n.s.	n.s.
Clorofilla a	mg/L	1,9	3,0	3,4	1,3	1,4	5,9	0,9			n.s.	**
<i>Escherichia coli</i>	UFC/100ml	1804	43	0	6	0	0	72	-	-	***	***
As disciolto	µg/L	1,3	1,1	1,6	0,9	0,8	1,5	1,0	1,6	5	n.s.	**
Hg disciolto	µg/L	< 0,005	0,007	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	0,003	0,01	***	-
Cd disciolto	µg/L	0,04	0,05	0,04	0,04	< 0,02	< 0,02	0,02	0,03	0,2	n.s.	***
Sb disciolto	µg/L	0,3	0,25	0,3	0,2	0,2	0,2	0,1	0,6	-	n.s.	***
Pb disciolto	µg/L	0,22	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,15	7,2	***	***
Ni disciolto	µg/L	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	1,5	20	-	-
Mn disciolto	µg/L	5,5	3,79	12,5	2,3	1,6	13,2	12,9	8	-	*	**
V disciolto	µg/L	1,2	1,15	1,4	0,9	1,3	1,1	0,6	2	-	n.s.	***
Cr <sub>tot</sub> disciolto	µg/L	0,16	0,17	0,14	< 0,1	0,15	0,16	0,11	0,7	4	n.s.	**
Cu disciolto	µg/L	1,6	1,6	0,9	0,7	0,8	1,3	0,7	1,5	-	n.s.	***
Fe disciolto	µg/L	3,5	4,1	2,3	1,5	1,0	2,5	11,5	8	-	n.s.	***
Zn disciolto	µg/L	6,7	3,7	4,3	2,3	1,4	1,0	4,8	1,5	-	***	**



Tabella 5/2. Concentrazioni medie dei microinquinanti organici nelle acque dei rii, delle stazioni comprese in una fascia di 500 m dalla città di Venezia e delle stazioni lagunari Fusina Ve-1, Campalto Ve-2, Palude Maggiore Ve-8 e Val di Brenta Ve-10.

PARAMETRO	Unità di misura	CONCENTRAZIONE MEDIA									CONFRONTO STATISTICO		
		CITTA'	AREA 500 m	Ve-1	Ve-2	Ve-8	Ve-10	SAMA	O.Q.I. D.M. 23/04/98	SQA-MA D.M.56/09	CITTA-500 m	CITTA'-LAGUNA	
Benzene	µg/L	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	1,2	8	-	-
Toluene	µg/L	1,3	< 0,4	0,7	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	2	1	***	***
o+m+p Xileni	µg/L	0,9	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	1	1	***	***
Σ Composti aromatici	µg/L	2,2	< 0,4	0,7	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	2	-	***	***
Tetraclorometano	µg/L	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	0,25	12	-	-
Cloroformio	µg/L	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	5,7	2,5	-	-
1,2-Dicloroetano	µg/L	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	0,4	10	-	-
Tricloroetilene	µg/L	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	2,7	10	-	-
Tetraclororetilene	µg/L	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	0,8	10	-	-
Triclorobenzene	µg/L	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	0,5	0,4	-	-
Esaclorobutadiene	µg/L	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	-	0,1	0,02	0,02	-	-
Tetraclorobenzene	µg/L	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	-	0,1	-	-	-	-
Pentaclorobenzene	µg/L	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	-	0,03	0,0007	0,0007	-	-
Σ Solventi alogenati	µg/L	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	6	-	-	-
Diclorofenoli	µg/L	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	-	0,4	0,2	0,2	-	-
Pentaclorofenolo	µg/L	0,03	0,04	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	-	0,3	0,4	0,4	n.s.	-
Fenoli totali (1)	µg/L	0,11	0,08	0,05	0,05	0,10	0,04	-	5	-	-	*	-

(1) Sommatoria di: 2-clorofenolo, 2-metilfenolo, 2 nitrofenolo, 2,3,4,6 tetraclorofenolo, 2,4 diclorofenolo, 2,4 dimetilfenolo, 2,4,5 triclorofenolo, 2,4,6 triclorofenolo, 2,6 diclorofenolo

Segue Tab. 5/2



Tabella 5/3. Concentrazioni medie dei microinquinanti organici nelle acque dei rii, delle stazioni comprese in una fascia di 500 m dalla città di Venezia e delle stazioni lagunari Fusina Ve-1, Campalto Ve-2, Palude Maggiore Ve-8 e Val di Brenta Ve-10.

PARAMETRO	Unità di misura	CONCENTRAZIONE MEDIA								CONFRONTO STATISTICO
		CITTA'	AREA 500 m	Ve-1	Ve-2	Ve-8	Ve-10	O.Q.I. D.M.	SQA-MA D.M.56/09	CITTA-500 m
<b>PBDE (2)</b>	µg/L	0,00005	0,00008	< 0,00005	< 0,00005	< 0,00005	0,00012	-	0,0002	n.s.
<b>Diossine e Furani</b>	µg (I-TE)/L	3,5·10 <sup>-8</sup>	7,2·10 <sup>-8</sup>	3,0·10 <sup>-8</sup>	3,5·10 <sup>-8</sup>	0,9·10 <sup>-8</sup>	1,3·10 <sup>-8</sup>	1,3·10 <sup>-8</sup>	-	n.s.
<b>PCB Diossina Simili</b>	µg (WHO-TE)/L	4,5·10 <sup>-8</sup>	4,2·10 <sup>-8</sup>	3,3·10 <sup>-8</sup>	12,5·10 <sup>-8</sup>	1,3·10 <sup>-8</sup>	0,07·10 <sup>-8</sup>	-	-	*
<b>PCB totali</b>	µg/L	0,0014	0,0009	0,0015	0,0031	0,0005	0,0001	0,00004	-	*
<b>Aldrin</b>	µg/L	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	0,0001	0,005	-
<b>DDT (totale)</b>	µg/L	< 0,02	0,03	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	0,0001	0,025	-
<b>Eptacloro</b>	µg/L	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	0,0001	0,005	-
<b>Endosulfano</b>	µg/L	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	0,009	0,0005	-
<b>Esaclorocicloesano α+β+γ</b>	µg/L	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	0,001	0,002	-
<b>Esaclorobenzene</b>	µg/L	0,00009	0,00004	0,00007	0,00020	0,00012	0,00001	0,0008	0,002	n.s.
<b>Antracene</b>	µg/L	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	-	0,1	-
<b>Fluorantene</b>	µg/L	0,007	< 0,005	0,010	< 0,005	< 0,005	< 0,005	-	0,1	**
<b>Benzo(a)pirene</b>	µg/L	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	0,003	0,05	-
<b>Benzo(b)fluorantene</b>	µg/L	< 0,005	< 0,005	0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	0,003	0,03	-
<b>Benzo(k)fluorantene</b>	µg/L	< 0,005	< 0,005	0,006	< 0,005	< 0,005	< 0,005	0,003	-	-
<b>Benzo(g,h,i)perilene</b>	µg/L	< 0,005	< 0,005	0,006	< 0,005	< 0,005	< 0,005	0,003	0,002	-
<b>Indeno(1,2,3-cd)pirene</b>	µg/L	< 0,005	< 0,005	0,006	< 0,005	< 0,005	< 0,005	0,003	-	-
<b>Naftalene</b>	µg/L	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	-	1,2	-
<b>Benzo(a)antracene</b>	µg/L	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	0,003	-	-
<b>Crisene</b>	µg/L	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	0,003	-	-
<b>Dibenzo(a,h)antracene</b>	µg/L	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	0,003	-	-
<b>Σ IPA</b>	µg/L	0,012	0,009	0,028	< 0,005	< 0,005	< 0,005	0,06	-	n.s.

(2) Polibromodifenileteri:sommatoria di 2,4,4' TriBDE (28), 2,2',4,4' TeBDE (44), 2,2',4,4',6 PeBDE (99), 2,2',4,4',5,5' HxBDE (153), 2,2',4,4',5',6 HxBDE (154)



Per quanto riguarda i macrodescrittori, il valore medio di ossigenazione delle acque dei rii (86 %) è risultato inferiore a quello delle aree perimetrali (104 %) e della laguna aperta (97 %) pur mantenendosi, anche nei valori minimi, su livelli superiori a quelli che determinano le condizioni di anossia e/o ipossia.

Il fosforo e l'azoto, invece, hanno valori medi sensibilmente superiori nelle acque del centro storico rispetto alle altre aree. Particolarmente elevato è il valore medio della concentrazione dei composti del fosforo (fosfati e fosforo totale disciolto - TDP), che risulta 3-4 volte superiore a quello rilevato nelle aree perimetrali e nella laguna aperta. L'elevata concentrazione del fosforo nelle acque dei rii deriva dalla sua presenza negli scarichi urbani; infatti, nonostante le restrizioni al suo impiego nelle sostanze per lavare, il fosforo, sia sotto forma di acido fosforico che di polifosfato, continua ad essere utilizzato come disincrostante e antidepositante per il calcare, sia nel comune uso domestico che negli impianti termici. Per quanto riguarda l'azoto, l'aumento dell'azoto totale disciolto (TDN) nelle acque dei rii rispetto alle altre aree è dovuto all'azoto ammoniacale ( $N-NH_4$ ), che caratterizza sia gli scarichi urbani non trattati che quelli sottoposti unicamente a trattamenti primari, quali le fosse settiche; viceversa, la concentrazione media dell'azoto ossidato ( $N-NO_3$ ) non è significativamente diversa nei canali rispetto alla laguna. Sia il TDN che il TDP risultano abbondantemente superiori agli obiettivi di qualità imperativi fissati dal D.M. 23.4.1998, a conferma che il centro storico è una sorgente significativa di nutrienti, anche se secondaria rispetto ad altre fonti inquinanti (19).

Come atteso, anche il livello della contaminazione batterica delle acque dei rii risulta nettamente superiore rispetto alle zone perimetrali e alla laguna aperta; anche in questo caso, la maggiore concentrazione di *Escherichia coli* è da attribuire alla presenza di scarichi diretti non trattati o trattati solo con sistemi primari. Il valore medio di *Escherichia coli* delle acque dei rii (1800 UFC/100 mL) è superiore al limite di 500 UFC/100 mL fissato dal D. Lgs. 30 maggio 2008, n. 116 per l'idoneità delle acque costiere e di transizione ai fini della balneazione; tuttavia, già nelle zone perimetrali della città l'indice della contaminazione fecale viene significativamente abbattuto.

Per quanto riguarda la contaminazione di tipo organico, espressa sia dal carbonio organico totale (TOC) e disciolto (DOC) che dal  $BOD_5$ , si può notare che i valori dei rii interni non si discostano sensibilmente dalle condizioni che caratterizzano la zona perimetrale e la laguna aperta; in particolare, il valore medio del  $BOD_5$  dei rii cittadini (1795  $\mu\text{g/L}$ ) è inferiore al valore imperativo del decreto 23.4.98 (2800  $\mu\text{g/L}$ ). A causa dell'elevata concentrazione dei cloruri, non è stato possibile determinare il valore del COD delle acque dei rii; tuttavia, una stima del valore di questo parametro può essere desunta dai tipici rapporti tra  $BOD_5$  e COD, che possono variare da 0.3 a 0.6 (20); pertanto, al COD delle acque dei rii può essere attribuito un valore medio compreso tra 3000 e 6000  $\mu\text{g/L}$ .

La concentrazione dei metalli e dell'arsenico nella forma disciolta nelle acque dei rii è significativamente superiore a quella della laguna aperta, a conferma della presenza di fonti di rilascio di questi inquinanti nell'ambito urbano. Oltre che negli scarichi domestici (metabolismo umano, smaltimento improprio di vernici e prodotti chimici, fenomeni di corrosione delle tubature), i metalli possono essere presenti anche nelle acque meteoriche che dilavano le coperture degli edifici e le strade della città. Inoltre, un importante contributo è sicuramente rappresentato dal rilascio di contaminanti metallici dalle imbarcazioni. Infatti, lo zinco viene utilizzato come anodo sacrificale per limitare la corrosione degli scafi metallici e dei motori marini, il rame è presente nella formulazione delle vernici antivegetative e il piombo trova ancora impiego nelle vernici anticorrosive. Le differenze di concentrazione dei metalli disciolti nelle acque dei rii interni e delle zone perimetrali sono meno marcate, ad eccezione di piombo e zinco che continuano ad essere maggiormente presenti nei rii del centro storico.



Sul 20 % dei campioni prelevati all'interno dei rii (30 campioni su 152) è stata eseguita anche l'analisi totale di questi contaminanti, ossia la frazione disciolta insieme a quella associata al particolato sospeso. In Tabella 6 vengono confrontati i valori medi della concentrazione totale con quelli della sola frazione disciolta determinata sugli stessi campioni. Come si può notare, con l'eccezione di arsenico, cadmio, antimonio e vanadio, la concentrazione totale risulta sensibilmente superiore a quella disciolta, evidenza di una forte associazione di questi contaminanti con il materiale in sospensione. In particolare, il 99 % del ferro e il 90 % del mercurio e del piombo presenti nelle acque dei rii sono legati al particolato.

**Tabella 6. Confronto tra la concentrazione media dell'arsenico e dei metalli nella fase disciolta e nel campione totale delle acque dei rii**

PARAMETRO	Unità di misura	CONCENTRAZIONE MEDIA		RAPPORTO DISCIOLTO/TOTALE	
		Disciolto	Totale	Centro storico 2008	Studio "DRAIN" 1999
As	µg/L	1,3	1,7	0,7	0,9
Hg	µg/L	0,004	0,035	0,1	0,5
Cd	µg/L	0,04	0,08	0,5	0,5
Sb	µg/L	0,25	0,32	0,8	-
Pb	µg/L	0,28	1,8	0,2	0,1
Ni	µg/L	< 2	3,6	0,3	0,6
Mn	µg/L	5,2	18,0	0,3	0,6
V	µg/L	1,15	2,2	0,5	-
Cr	µg/L	0,16	1,8	0,1	0,3
Cu	µg/L	1,7	5,2	0,3	0,4
Fe	µg/L	4,1	361	0,01	0,1
Zn	µg/L	7,0	16,5	0,4	0,3

Nella Tabella 6 vengono confrontati i rapporti di distribuzione tra la concentrazione nella fase disciolta e la concentrazione totale nelle acque dei rii con quelli determinati alla foce dei principali immissari in laguna nel corso dello studio "DRAIN" (21). Come si può osservare, i rapporti tra frazione disciolta e totale delle acque dei rii sono, in generale, più bassi, segno che le caratteristiche chimico-fisiche delle acque dei canali cittadini, in particolare la maggiore salinità delle acque dei rii rispetto alle zone di foce, promuovono l'associazione dei metalli con la frazione sospesa e favoriscono i processi di sedimentazione delle specie metalliche nei sedimenti dei canali, riducendone di conseguenza la biodisponibilità. Va tuttavia ricordato che i sedimenti possono diventare a loro volta una fonte di contaminazione delle acque in quanto, a seconda del loro grado di inquinamento e delle condizioni ambientali, possono rilasciare nella fase acquosa i contaminanti accumulati.

Per quanto riguarda i composti organici, nelle acque dei rii sono state rilevate concentrazioni apprezzabili soprattutto di toluene e xileni, composti residuali dei combustibili delle imbarcazioni a motore, oltre a fenoli, PCB (Policlorobifenili) ed alcuni IPA (Idrocarburi Policiclici Aromatici).

I valori medi delle concentrazioni dei vari parametri analizzati sono stati confrontati anche con gli standard di qualità ambientale del D.M. 56/09. In nessun caso i valori medi dei parametri analizzati (38 su 48) superano i limiti degli standard di qualità per le sostanze dell'elenco di priorità per le acque di transizione



(Tabella 1/A) e solo il toluene supera il limite per le sostanze non appartenenti all'elenco di priorità (Tabella 1/B); nelle aree perimetrali e nella laguna aperta i valori medi di tutti i parametri misurati sono risultati inferiori ai valori degli standard di riferimento.

Nella Tabella 7 vengono riportate le classi dei contaminanti che superano gli obiettivi di qualità imperativi previsti dal D.M. 23.4.1998 nei rii del centro storico, nelle stazioni perimetrali e nella laguna aperta. Per i rii del centro storico viene riportata anche la percentuale di campioni che superano gli obiettivi imperativi.

**Tabella 7. Parametri che superano gli obiettivi di qualità imperativi del D.M. 23 aprile 1998 nei rii interni, nella zona perimetrale e nella laguna aperta.**

RII		ZONA PERIMETRALE 500 m	LAGUNA
	% di campioni che superano gli O.Q.		
TDN	95	TDN	TDN
TDP	63	Hg	Mn
Cd	62	Cd	Fe
Pb	66	Cu	Zn
Cu	47	Zn	Diossina (*)
Zn	100	Diossina	PCB
Σ composti aromatici	34	PCB	
Diossina	4		
PCB	88		

(\*) L'obiettivo di qualità per la diossina viene superato nelle stazioni della laguna centrale (Ve-1 e Ve-2), mentre viene rispettato nelle stazioni della laguna sud (Ve-10) e della laguna nord (Ve-8), confermando quanto già riportato in altri studi (32).

Come si può notare dalla Tabella 7, lo zinco (Zn), l'azoto totale (TDN) e i policlorobifenili (PCB) sono i parametri che superano con maggiore frequenza gli obiettivi imperativi fissati dal D.M. 23.4.1998 nelle acque dei rii, mentre la diossina supera il limite ( $1,3 \cdot 10^{-8}$  µg/L) solo nel 4 % dei campioni prelevati, a conferma dell'origine industriale di questo contaminante, contrapposta all'origine ubiquitaria dei PCB.

Nonostante le acque dei rii superino per alcuni parametri gli obiettivi imperativi del D.M. 23.4.1998, il livello medio di inquinamento dei macrodescrittori dei canali cittadini non appare allarmante. Un giudizio più preciso può essere formulato con LIM (Livello di Inquinamento da Macrodescrittori), un indice sintetico di inquinamento chimico-biologico dei corpi idrici ancora utilizzato da molte ARPA. Pur non essendo stato sviluppato per le acque di transizione, il calcolo dell'indice LIM delle acque dei rii consente di confrontare il livello di inquinamento dei macrodescrittori dei canali di Venezia con quello dei corpi idrici del bacino scolante. Il metodo LIM assegna i punteggi più elevati ai corpi idrici caratterizzati da bassi livelli di inquinamento dei macrodescrittori (Livello 1, colore azzurro) e i punteggi più bassi a quelli di qualità peggiore (Livello 5, colore rosso), mentre ai livelli intermedi 2, 3 e 4 vengono assegnati rispettivamente, i colori verde, giallo e arancione. Applicando la procedura di calcolo del LIM ai valori medi di ciascuno dei principali macrodescrittori misurati nel presente studio ( $O_2$ ,  $BOD_5$ , azoto nitrico, azoto ammoniacale, fosforo, *Escherichia coli*) e al valore stimato del COD (posto pari a 3,3 volte il valore del  $BOD_5$ ), il valore del LIM dei rii è risultato pari a 260, corrispondente al Livello 2, colore verde, migliore della maggior parte dei livelli assegnati dall'ARPAV nel 2008 ai tratti terminali di 12 corsi del bacino scolante in laguna (22).



### 3.3. L'andamento stagionale delle caratteristiche delle acque dei rii

Nella seguente Tabella 8 sono riportati i valori medi dei parametri più significativi misurati nella campagna estiva e in quella invernale nelle acque dei rii del centro storico, delle stazioni perimetrali esterne e in laguna aperta.

**Tabella 8. Valori medi dei macrodescrittori, dei metalli in fase disciolta e dei principali inquinanti organici nelle acque dei rii, nelle aree perimetrali esterne e nella laguna aperta nelle campagne estiva e invernale.**

PARAMETRO	Unità di misura	CAMPAGNA ESTIVA Giugno – Agosto 2008			CAMPAGNA INVERNALE Gennaio – Marzo 2009		
		Rii	Area 500 m	Laguna	Rii	Area 500 m	Laguna
TOC	µg/L	2633	2383	4194	1622	1375	2642
DOC	µg/L	2248	1992	3203	1271	1142	1889
BOD <sub>5</sub>	µg/L	1334	2017	-	2256	1142	-
N-NO <sub>2</sub>	µg/L	15	7	15	15	13	17
N-NO <sub>3</sub>	µg/L	175	81	126	517	559	588
N-NH <sub>4</sub>	µg/L	298	107	109	221	93	102
TDN	µg/L	782	365	602	935	892	881
P-PO <sub>4</sub>	µg/L	38	6	16	33	13	9
TDP	µg/L	46	9	23	36	14	12
O <sub>2</sub>	% sat.ne	80,6	100,2	91,4	90,7	107,7	98,4
Torbidità	FTU	32,8	40,2	7,1	22,0	13,9	24,5
Temperatura	° C	25,7	25,9	25,7	8,3	8,8	11,6
Clorofilla a	mg/L	3,1	5,5	0,9	0,6	0,4	0,8
<i>Escherichia coli</i>	UFC/100ml	1656	75	0	1970	12	92
As disciolto	µg/L	1,6	1,4	1,4	0,9	0,9	0,7
Hg disciolto	µg/L	0,005	0,009	< 0,005	< 0,005	0,005	< 0,005
Cd disciolto	µg/L	0,04	0,04	< 0,02	0,05	0,06	0,02
Sb disciolto	µg/L	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,1
Pb disciolto	µg/L	0,22	< 0,1	< 0,1	0,22	< 0,1	< 0,1
Ni disciolto	µg/L	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2
Mn disciolto	µg/L	7,3	4,5	1,1	3,8	3,1	5,9
V disciolto	µg/L	1,6	1,3	1,1	0,8	1,0	0,5
Cr <sub>tot</sub> disciolto	µg/L	0,15	0,13	< 0,1	0,17	0,21	0,13
Cu disciolto	µg/L	1,4	0,8	0,6	1,9	2,5	0,8
Fe disciolto	µg/L	3,1	2,0	1,3	3,9	6,3	4,2
Zn disciolto	µg/L	6,5	3,1	5,3	6,8	4,3	4,3
Benzene	µg/L	< 0,4	< 0,4	-	< 0,4	< 0,4	< 0,4
Toluene	µg/L	1,0	< 0,4	-	1,6	0,5	< 0,4
o+m+p Xileni	µg/L	0,9	< 0,4	-	0,9	< 0,4	< 0,4
Σ Composti aromatici	µg/L	1,9	< 0,4	-	2,5	0,5	< 0,4
Diossine e Furani	µg(I-TE)/L	6,4·10 <sup>-8</sup>	3,3·10 <sup>-8</sup>	-	1,7·10 <sup>-8</sup>	1,3·10 <sup>-8</sup>	-
PCB Diossina Simili	µg(WHO-TE)/L	6,8·10 <sup>-8</sup>	7,8·10 <sup>-8</sup>	-	2,2·10 <sup>-8</sup>	3,5·10 <sup>-8</sup>	-
PCB totali	µg/L	0,0018	0,0016	-	0,0009	0,0002	-



Dall'esame dei risultati di Tabella 8, si può osservare che la maggior parte dei parametri non ha evidenziato andamenti sostanzialmente differenti nei diversi ambiti, a conferma che i processi biochimici a scala lagunare determinano anche quelli all'interno della città. L'azoto ossidato ( $N-NO_3$ ) e l'azoto totale (TDN) nelle acque dei rii seguono gli stessi andamenti della laguna aperta, con le concentrazioni maggiori nel periodo invernale in conseguenza dei maggiori apporti e della ridotta produzione primaria. Viceversa, in tutte le zone considerate il Carbonio Organico (totale e disciolto) è significativamente più abbondante nei mesi estivi, supportando l'ipotesi di origine autoctona legata alle dinamiche di produzione primaria e al comportamento non conservativo di questo parametro (23).

Una peculiarità del centro storico è rappresentata dall'azoto ammoniacale ( $N-NH_4$ ) che, diversamente da quanto osservato in laguna, è significativamente più alto in estate che in inverno; infatti, mentre in laguna i fenomeni di immissione di carico e di trasporto rappresentano i principali contributi di nutrienti nel periodo invernale e sono correlati alle portate fluviali dei principali tributari (16), l'aumento dell'azoto ammoniacale nei rii nel periodo estivo è collegato al maggior carico inquinante prodotto dagli scarichi urbani a causa dell'incremento delle presenze turistiche. L'ipotesi di una maggiore portata di reflui prodotti dalla città nel periodo estivo sembra confermata dall'andamento della salinità, sensibilmente più bassa in estate nei rii rispetto alle stazioni perimetrali (500 metri) e alle acque lagunari, a causa del significativo apporto di acqua dolce proveniente dagli scarichi urbani. Il fosforo, sia nella forma solubile che totale, non mostra invece una variabilità stagionale significativa.

Anche i metalli in forma disciolta nelle acque dei rii mostrano una variabilità stagionale simile quella delle acque lagunari. A questo riguardo, è molto interessante notare che la concentrazione del rame disciolto è minima in estate, mentre il TOC raggiunge nello stesso periodo i valori massimi. Questi risultati confermano che la sostanza organica rappresenta un fattore di controllo della concentrazione di questo metallo e della sua biodisponibilità e tossicità (23). Per altri parametri, come l'arsenico e l'antimonio, le massime concentrazioni si hanno invece nel periodo estivo. Nella Figura 7 vengono rappresentati in forma grafica gli andamenti descritti.

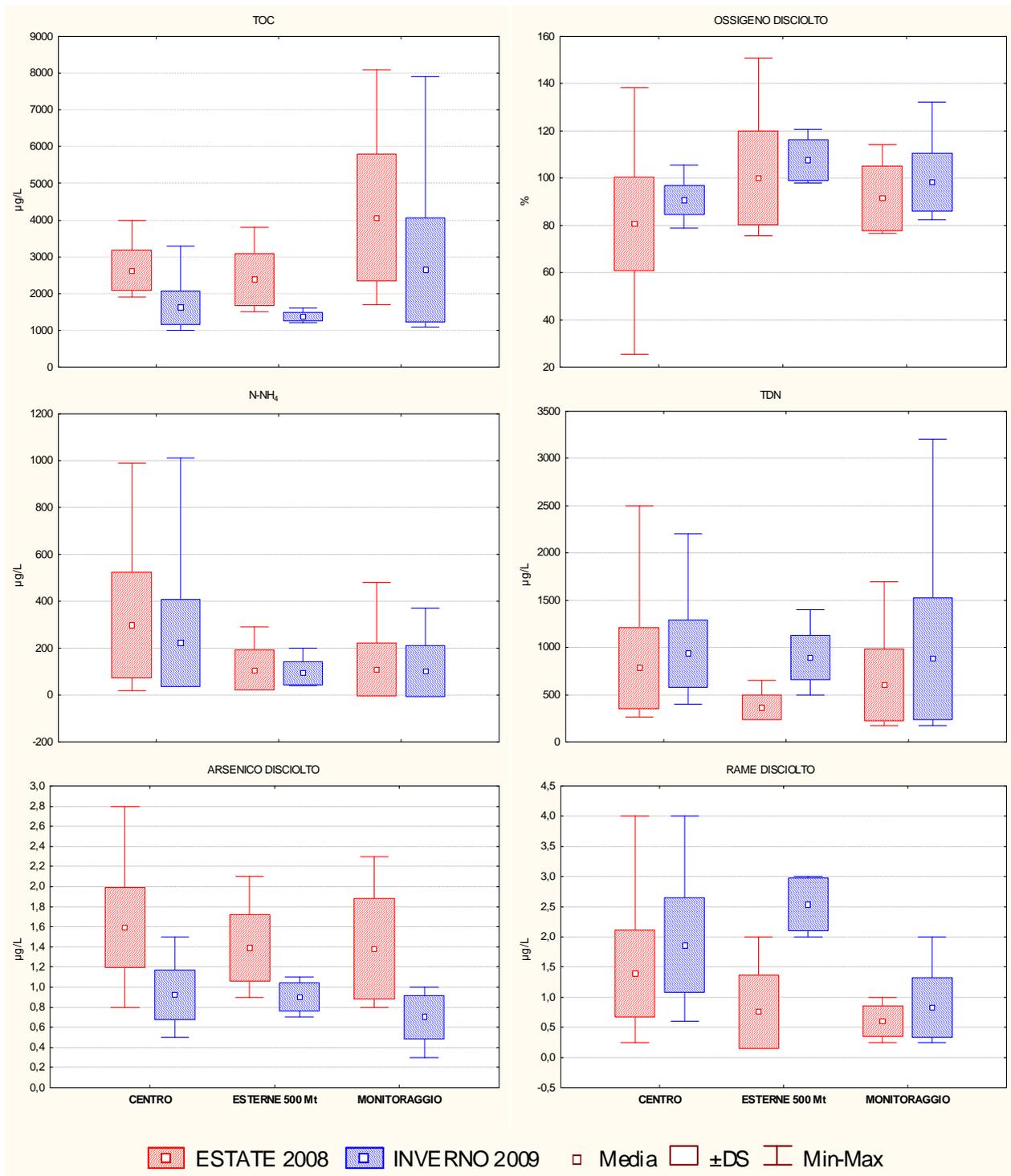


Figura 7. Confronto tra i valori medi estivi e invernali dei macrodescriptors (TOC, O<sub>2</sub>%, N-NH<sub>4</sub>, TDN), dell'Arsenico e del Rame nei rii del centro storico (CENTRO), nelle aree perimetrali (ESTERNE 500 m) e nella laguna aperta (MONITORAGGIO).



### 3.4. L'influenza della marea sulle caratteristiche delle acque dei rii

L'andamento dei parametri chimici, fisici e biologici delle acque della laguna è influenzato anche da fattori di variabilità a scala temporale più breve rispetto a quella stagionale, quali il ciclo della marea. In Tabella 9 sono riportati i valori medi rilevati nelle acque dei rii nelle fasi di alta e bassa marea.

**Tabella 9. Valori medi dei principali parametri delle acque dei rii in condizioni di alta e bassa marea.**

PARAMETRO	Unità di misura	CONCENTRAZIONE MEDIA RII		CONFRONTO STATISTICO A.M. – B.M.
		ALTA MAREA	BASSA MAREA	
TOC	µg/L	1982	2269	*
DOC	µg/L	1666	1884	n.s.
BOD <sub>5</sub>	µg/L	1612	1978	*
N-NO <sub>2</sub>	µg/L	14	16	n.s.
N-NO <sub>3</sub>	µg/L	335	358	n.s.
N-NH <sub>4</sub>	µg/L	250	268	n.s.
TDN	µg/L	827	889	n.s.
P-PO <sub>4</sub>	µg/L	32	39	n.s.
TDP	µg/L	39	43	n.s.
O <sub>2</sub>	% sat.ne	92,2	84,9	*
Torbidità	FTU	17,2	37,6	***
Clorofilla a	mg/L	1,5	2,2	n.s.
Salinità	‰	31,1	30,0	***
<i>Escherichia coli</i>	UFC/100ml	1389	2219	*
As disciolto	µg/L	1,2	1,3	*
Hg disciolto	µg/L	< 0,005	< 0,005	-
Cd disciolto	µg/L	0,04	0,04	n.s.
Sb disciolto	µg/L	0,2	0,3	*
Pb disciolto	µg/L	0,21	0,23	n.s.
Ni disciolto	µg/L	< 2	< 2	-
Mn disciolto	µg/L	5,5	5,5	n.s.
V disciolto	µg/L	1,2	1,2	n.s.
Cr <sub>tot</sub> disciolto	µg/L	0,16	0,16	n.s.
Cu disciolto	µg/L	1,6	1,6	n.s.
Fe disciolto	µg/L	3,3	3,6	n.s.
Zn disciolto	µg/L	6,5	6,8	n.s.
Toluene	µg/L	1,1	1,5	n.s.
o+m+p Xileni	µg/L	0,9	1,0	n.s.
Σ Composti aromatici	µg/L	2,0	2,5	n.s.
Diossine e Furani	µg (I-TE)/L	2,3·10 <sup>-8</sup>	5,6·10 <sup>-8</sup>	*
PCB Diossina Simili	µg (WHO-TE)/L	4,0·10 <sup>-8</sup>	5,2·10 <sup>-8</sup>	n.s.
PCB totali	µg/L	0,013	0,014	n.s.
Esaclorobenzene	µg/L	0,00010	0,00007	n.s.
Σ IPA	µg/L	0,005	0,015	*

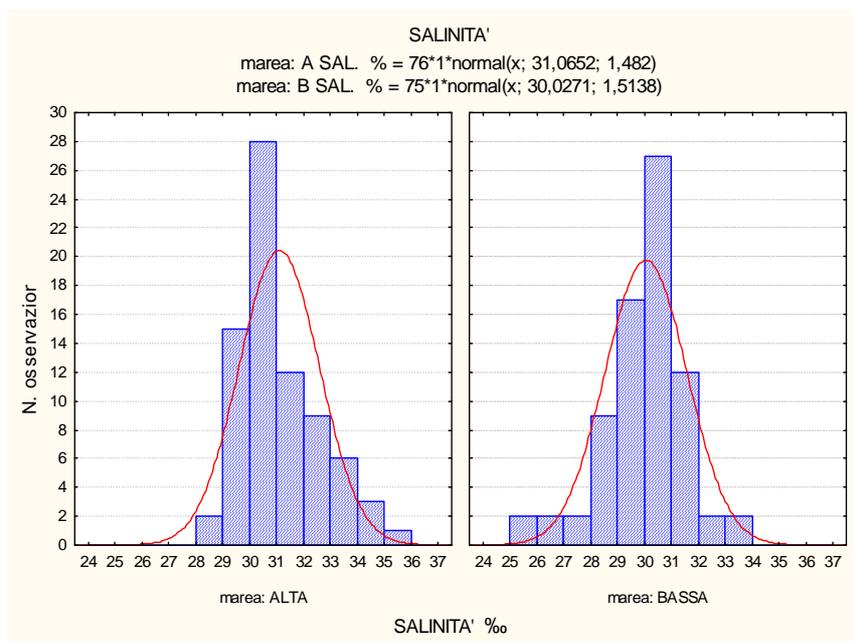
A.M. : Alta Marea; B.M.: Basa Marea



Durante la marea crescente predominano gli apporti dal mare, con una distribuzione di acque saline con caratteristiche proprie delle acque costiere, secondo un gradiente dal mare verso la linea di gronda. Viceversa, la fase di riflusso è caratterizzata dagli apporti dal bacino scolante. Infatti, nei tre ambiti spaziali considerati (centro urbano, area a 500 m e stazioni in laguna) la salinità e la percentuale di saturazione dell'ossigeno risultano maggiori in condizioni di alta marea.

Tuttavia, è nel centro urbano che l'effetto della marea, in condizioni di massima escursione (sizigia), mostra le differenze più significative, ancorché inferiori a quelle osservate nel corso delle variazioni stagionali (campagne estive e invernali). Come si può osservare in Tabella 9, le acque dei rii in condizioni di bassa marea fanno registrare una diminuzione della salinità e un aumento della torbidità, con valori di concentrazione più elevati per la quasi totalità dei parametri analizzati.

Particolarmente importanti sono le distribuzioni normali della salinità, che in alta e in bassa marea appaiono sostanzialmente diverse; in particolare, come mostrato in Figura 8, in bassa marea il 20 % dei campioni ha valori di salinità inferiori al 29 ‰, mentre in alta marea solo il 2 % dei campioni ha una salinità al di sotto di questo valore. Ciò significa che in condizioni di bassa marea gli scarichi dei reflui urbani, caratterizzati da una bassa salinità, sono meno diluiti dall'acqua di mare; di conseguenza, anche la concentrazione dei diversi inquinanti risulta maggiore.



**Figura 8. Confronto tra la distribuzione dei valori di salinità rilevati nei canali del centro storico in condizioni di alta e bassa marea.**

Il peggioramento delle caratteristiche delle acque è dovuto non solo al minor effetto di diluizione degli scarichi ma anche alla maggiore risospensione dei sedimenti che, in bassa marea influenza in modo determinante i parametri correlati alla frazione solida sospesa e quindi alla torbidità. Infatti, TOC, BOD<sub>5</sub>, diossine e IPA mostrano un sensibile aumento di concentrazione in condizioni di bassa marea.

### 3.5. L'influenza dell'idrodinamica sulle caratteristiche delle acque dei rii

La dipendenza delle caratteristiche della qualità delle acque dei rii con la vivacità idrodinamica è stata studiata utilizzando il modello matematico idrodispersivo bidimensionale MODMEF della laguna di Venezia in uso dal 1998 presso il Servizio Informativo del Magistrato alle Acque. L'idrodinamica dei canali del centro storico di Venezia è stata determinata simulando la propagazione di una marea standard di periodo 12 ore ed escursione  $\pm 35$  cm attorno al medio mare, dalle tre bocche di porto in tutta la laguna, città di Venezia compresa. Per determinare la vivacità media di ogni rio, sono stati estratti 12 valori a passo orario del modulo della velocità (6 valori in fase di flusso mareale e 6 in fase di riflusso) per ogni nodo della rete del centro storico (circa 3000) e successivamente sono stati calcolati il valor medio e massimo per ogni elemento finito. Infine, le mappe delle velocità massime e medie conseguenti sono frutto di una fine interpolazione su griglia quadrata di 50 m dei suddetti valori. Nella seguente Figura 9 sono rappresentate con diversi colori le velocità massime di corrente nei diversi rii durante il ciclo di marea simulato e i valori di velocità massima nei punti di prelievo dei campioni d'acqua.



**Figura 9. Mappa delle velocità massime di corrente durante un ciclo di marea simulato con il modello dispersivo. I valori numerici (m/s) indicano il valore di velocità massima nei punti di campionamento del presente studio.**

I valori di velocità massima e media simulate nei punti di prelievo dei campioni sono riportati nella seguente tabella.



**Tabella 10. Valore della velocità massima e della velocità media simulate nei diversi rii nei punti di prelievo dei campioni del presente studio.**

Stazione	Rio	Velocità max	Velocità media
		m/s	m/s
1	S. Pietro di Castello	0,149	0,082
2	Rio di S. Daniele	0,068	0,033
3	Rio de la Tana	0,217	0,136
4	Rio S. Francesco Vigna	0,229	0,170
5	Rio della Pietà	0,337	0,263
6	Rio Tette	0,105	0,074
7	Rio Piombo	0,247	0,167
8	Rio Mendicanti	0,285	0,219
9	Rio della Guerra	0,189	0,130
10	Rio delle Procuratie	0,082	0,057
11	Rio del Santissimo	0,115	0,078
12	Rio Ormesini	0,149	0,108
13	Rio della Sensa	0,190	0,128
14	Rio dei Riformati	0,132	0,092
15	Rio di Cannaregio	0,370	0,264
16	Rio de S. Giobbe	0,140	0,085
17	Rio de la Pergola	0,106	0,073
18	Rio de Ca' Tron	0,099	0,060
19	Rio de S. Polo	0,244	0,170
20	Rio Marin	0,180	0,132
21	Rio de la Frescade	0,179	0,131
22	Rio dei Carmini - F.ta Soccorso	0,218	0,168
23	Canale Scomensera - F.ta S. Chiara	0,295	0,210
24	Rio de S. Maria maggiore	0,151	0,101
25	Rio de Ognissanti	0,136	0,088
26	Ro della Fornase	0,151	0,070
27	Rio Priuli	0,044	0,027
28	Arsenale	0,145	0,077
29	Canal Grande - Rio Marin	0,125	0,056
30	Canal Grande - Riva del Carbon	0,204	0,149
31	Canal Grande - Zona Salute	0,307	0,187
32	F.ta. S. Grardo	0,173	0,112
33	F.ta Giudecca	0,161	0,099
34	Calle Conza Curame	0,223	0,139
35	F.ta al Rio dalla Croce	0,237	0,128
36	Bacino Stazione Marittima	0,145	0,077
37	Stadio S. Elena	0,387	0,269
38	Ponte Tronchetto	0,423	0,271



I risultati ottenuti dalla simulazione modellistica sono in buon accordo con quelli dei precedenti studi, in particolare con quello del 1962 dell'Ufficio Idrografico del Magistrato alle Acque, che hanno evidenziato che la maggior parte dei canali interni della città viene alimentata attraverso il Canal Grande e che la velocità massima delle acque dei rii interni della città è compresa nell'intervallo tra 0 e 0.45 m/s (24).

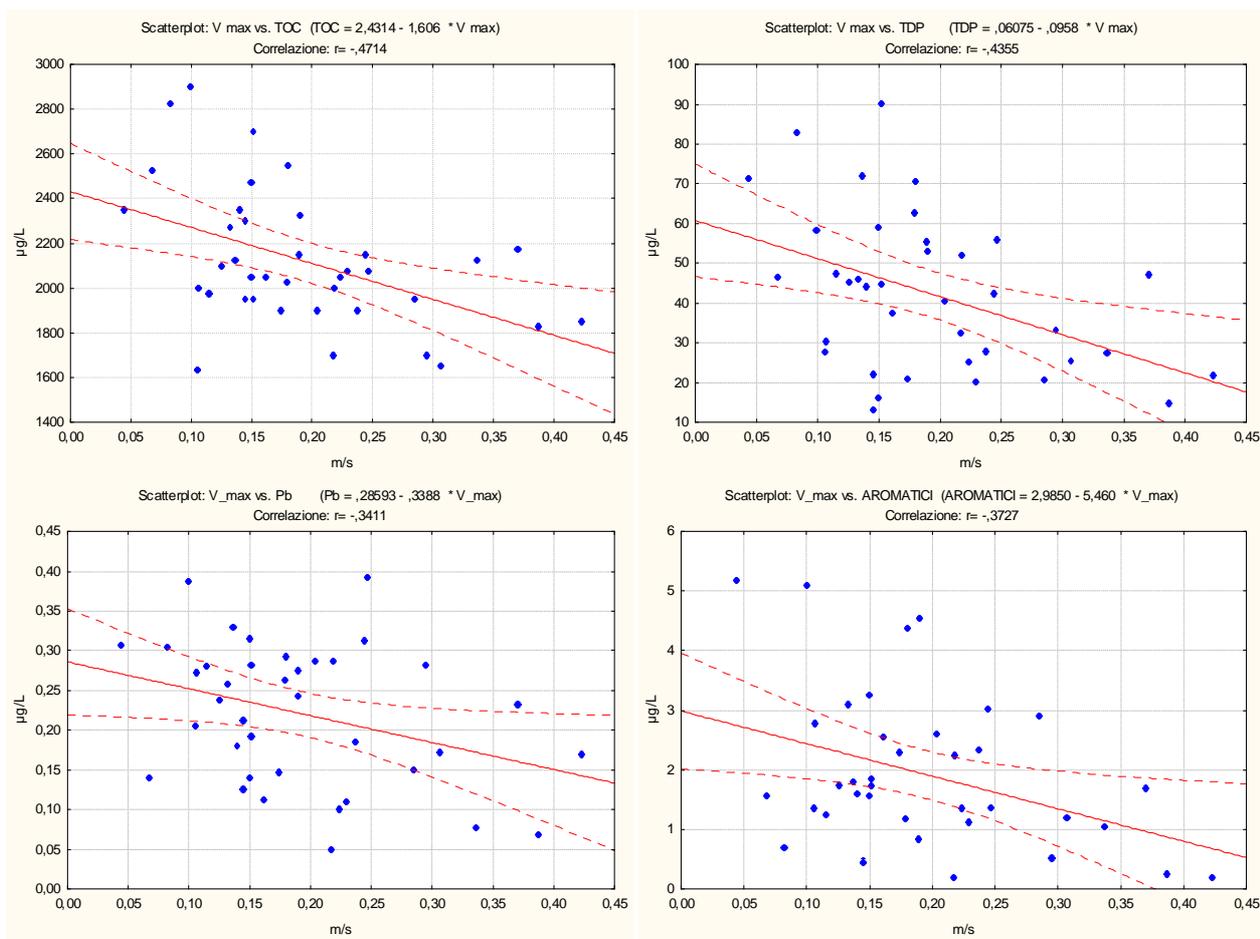
La matrice di correlazione tra la velocità massima della corrente e il valore medio della concentrazione di ciascun parametro in ogni punto della rete di monitoraggio (media dei dati in alta e bassa marea e delle campagne estive e invernali) indica che il valore della velocità di corrente risulta correlato con una proporzionalità inversa con molti dei parametri che caratterizzano le acque dell'ambito urbano: a velocità di corrente più elevate corrispondono effettivamente concentrazioni minori dei vari parametri. Nella seguente Tabella 11 vengono riportati i fattori di correlazione dei diversi parametri che risultano statisticamente correlati con la velocità massima di corrente.

**Tabella 11. Fattori di correlazione tra i principali parametri e la velocità massima di corrente dei rii.**

Parametro	TOC	DOC	N-NO <sub>2</sub>	N-NH <sub>4</sub>	TDN	P-PO <sub>4</sub>	TDP	Pb	Zn	E. coli	AROMATICI
Velocità Massima	-0,47	-0,40	-0,53	-0,38	-0,35	-0,39	-0,44	-0,34	-0,34	-0,37	-0,37

Gli indici di correlazione di Pearson corrispondono ad una correlazione significativa al livello del 95% di probabilità. Le correlazioni sono esclusivamente negative, ad indicare una proporzionalità inversa tra la velocità massima di corrente e la concentrazione dei diversi parametri e quindi un effetto positivo della vivacità idrodinamica sulla qualità chimica delle acque dei rii.

In Figura 10 viene rappresentata la dispersione della concentrazione di alcuni parametri che risultano significativamente correlati con la velocità massima di corrente (TOC, TDP, Pb, Composti Aromatici). La linea rossa continua rappresenta l'andamento cui tendono le concentrazioni in funzione della velocità di corrente, mentre le bande tratteggiate indicano il livello di confidenza del 95% della distribuzione attesa. Come si può notare, pur essendo evidente la dipendenza inversa della concentrazione dei diversi parametri dalla velocità di corrente, la dispersione dei punti attorno all'andamento atteso risulta notevole, a conferma dell'importanza delle altre variabili. Infatti, il rapporto di diluizione dei contaminanti da parte dell'acqua della laguna che fluisce attraverso i rii dipende non solo dalla vivacità idrodinamica ma anche dalla sezione idraulica; infatti, a parità di velocità di corrente, i rii caratterizzati da una ridotta sezione idraulica vengono attraversati, nell'unità di tempo, da volumi d'acqua di diluizione minori. Inoltre, il fattore di diluizione della concentrazione dei contaminanti dipende anche dalla loro posizione: nei rii delle aree marginali della città fluisce acqua con caratteristiche chimico-fisiche migliori di quella che alimenta i rii delle zone più interne.



**Figura 10. Dispersione delle concentrazioni in funzione della velocità massima di corrente per i parametri TOC, TDP, Pb e Composti Aromatici.**

### 3.6. I rii più contaminati

La contaminazione delle acque dei rii è determinata dall'immissione di inquinanti da fonti puntuali, rappresentate dagli scarichi dei reflui della città, e da fonti diffuse, come i rilasci di idrocarburi e di metalli dalle imbarcazioni a motore, il dilavamento di tetti e strade da parte delle acque meteoriche e il rilascio dai sedimenti, che in certe condizioni possono risolubilizzare gli inquinanti adsorbiti. La vivacità idrodinamica, la sezione idraulica e la posizione dei rii determinano il grado di diluizione degli inquinanti da parte dell'acqua della laguna che, per effetto dei cicli di marea, penetra all'interno dei rii e produce il periodico ricambio delle acque.

Anche se le condizioni generali delle acque dei rii non appaiono critiche, alcuni canali hanno evidenziato concentrazioni di alcuni inquinanti maggiori di altri. Al fine di evidenziare questi casi, per ciascuno dei parametri che superano gli obiettivi imperativi, sono stati selezionati i 10 campioni con concentrazioni più elevate, includendo anche i valori estremi che sono stati esclusi nell'elaborazione statistica utilizzata per la definizione dei valori medi di Tabella 5/1-2. Questi campioni sono stati ordinati per valori di concentrazione decrescente per individuare i rii più contaminati (Tabella 12). Come si può osservare, in alcuni riquadri di Tabella 12 compaiono campioni prelevati nello stesso rio, ma in stagioni o condizioni di marea diverse. A ciascun campione è stato assegnato un punteggio decrescente da 10 a 1 e i punteggi corrispondenti ai



campioni prelevati nello stesso rio sono stati sommati. I valori più alti individuano i rii con le caratteristiche peggiori, secondo le classi seguenti:

- punteggio da 1 a 5 **colore blu;**
- punteggio da 6 a 10 **colore verde;**
- punteggio da 11 a 15 **colore giallo;**
- punteggio da 16 a 20 **colore rosso.**

**Tabella 12. Elenco per parametro dei 10 rii più contaminati e loro classificazione.**

TDP			
Rio (Stazione)	Marea	Stagione	µg/L
Ognissanti (25)	B	I	1700
Procuratie (10)	B	E	240
Ognissanti (25)	B	E	200
Marin (29)	B	E	180
S. Daniele (2)	B	I	175
Tette (6)	A	I	170
Procuratie (10)	B	I	155
Piombo (7)	B	E	126
Marin (20)	B	I	125
Frescade (21)	A	I	125

TDN			
Rio (Stazione)	Marea	Stagione	µg/L
Ognissanti (25)	B	I	7800
Procuratie (10)	B	E	2500
Scomensera (23)	A	I	2200
Procuratie (10)	B	I	2000
Frescade (21)	A	E	2000
Marin (20)	B	I	1900
Frescade (21)	A	I	1700
Tana (3)	B	E	1700
Ognissanti (25)	B	E	1600
Priuli (27)	A	E	1600

Pb			
Rio (Stazione)	Marea	Stagione	µg/L
Procuratie (10)	B	I	1,6
Procuratie (10)	B	E	1,3
Ca' Tron (18)	B	I	0,8
Piombo (7)	B	E	0,8
Marin (20)	B	I	0,7
Pergola (17)	B	I	0,6
S. Polo (19)	B	I	0,5
Santissimo (11)	B	E	0,5
Ognissanti (25)	B	E	0,5
Arsenale (28)	A	E	0,5

Cd			
Rio (Stazione)	Marea	Stagione	µg/L
Ca' Tron (18)	B	I	0,16
Arsenale (28)	B	I	0,16
Marittima (36)	A	I	0,13
Marittima (36)	B	I	0,11
F.ta Giudecca (33)	A	I	0,1
Tronchetto (38)	B	I	0,1
Croce (35)	A	I	0,1
Cannaregio (15)	A	E	0,09
Arsenale (28)	A	I	0,09
Ormesini (12)	B	I	0,08



Segue Tabella 12. Elenco per parametro dei 10 rii più contaminati e loro classificazione.

Cu			
Rio (Stazione)	Marea	Stagione	µg/L
Ca' Tron (18)	B	I	0,16
Cannaregio (15)	A	E	0,09
Pergola (17)	A	I	0,13
Marittima (36)	B	I	0,11
Marittima (36)	A	I	0,1
F.ta Giudecca (33)	B	I	0,1
Tronchetto (38)	A	I	0,07
Tronchetto (38)	B	I	0,06
S. Polo (19)	B	I	0,05
Canal Grande (29)	B	E	0,05

Zn			
Rio (Stazione)	Marea	Stagione	µg/L
S. Polo (19)	B	E	21
Ca' Tron (18)	B	I	18
Canal Grande (29)	B	E	16
Canal Grande (29)	A	E	16
Santissimo (11)	B	E	16
Guerra (9)	A	I	15
Procuratie (10)	B	E	15
F.ta Giudecca (33)	B	I	15
Ormesini (12)	B	I	13
Canal Grande (29)	B	E	13

AROMATICI			
Rio (Stazione)	Marea	Stagione	µg/L
Procuratie (10)	B	I	25,5
Guerra (9)	B	I	13,7
Ormesini (12)	B	E	10,1
Ca' Tron (18)	A	I	9,3
Canal Grande (30)	A	I	8,7
F.ta Giudecca (33)	A	E	7,9
Marin (20)	B	E	7,8
Priuli (27)	B	E	7,7
Sensa (13)	B	E	7,6
Ca' Tron (18)	B	I	7

PCDD/PCDF			
Rio (Stazione)	Marea	Stagione	µg/L
Frescade (21)	B	E	$6,9 \cdot 10^{-8}$
Santissimo (11)	B	E	$5,9 \cdot 10^{-8}$
Scomensera (23)	B	E	$4,4 \cdot 10^{-8}$
Marin (20)	B	E	$2,2 \cdot 10^{-8}$
Tronchetto (38)	B	E	$2,1 \cdot 10^{-8}$
S. Daniele (2)	A	E	$1,9 \cdot 10^{-8}$
Tette (6)	A	E	$1,2 \cdot 10^{-8}$
Piombo (7)	A	I	$1,1 \cdot 10^{-8}$
S.M. Maggiore (24)	B	E	$1 \cdot 10^{-8}$
Priuli (27)	B	E	$1 \cdot 10^{-8}$

PCB			
Rio (Stazione)	Marea	Stagione	µg/L
Ca' Tron (18)	A	E	0,015
S. Francesco (4)	A	E	0,012
Mendicanti (8)	B	E	0,009
Piombo (7)	B	E	0,007
Marin (20)	B	E	0,007
Pergola (17)	B	E	0,006
Scomensera (23)	A	E	0,005
Priuli (27)	B	E	0,005
Procuratie (10)	A	I	0,005
Pergola (17)	A	E	0,005



Nelle Figure da 11 a 19 vengono contrassegnate, con le medesime colorazioni, le stazioni dei rii dove sono stati assegnati i punteggi più alti per i diversi contaminanti. Come si può osservare, per la maggior parte dei parametri, le concentrazioni più elevate si sono registrate nella zona centrale della città, anche se, per alcuni parametri non mancano segnali di criticità in zone diverse.

Per quanto riguarda il fosforo totale disciolto – TDP (Figura 11), il rio Ognissanti (stazione 25) raggiunge il massimo punteggio, seguito dal rio delle Procuratie (stazione 10). Nel rio Ognissanti scaricano i reflui del complesso sanitario G.B. Giustinian, che possono giustificare i valori elevati di TDP rilevati in questo rio. Va precisato che questa struttura sanitaria è dotata di un impianto di depurazione biologico ad ossidazione totale, in grado ridurre il carico organico e ossidare le forme dell'azoto, ma non predisposto per l'abbattimento dei composti del fosforo (trattamento terziario). Nel rio delle Procuratie versano gli scarichi di numerosi alberghi e ristoranti, che assieme alla scarsa vivacità del rio (velocità massima 0,082 m/s) e alla sua posizione interna alla città, determinano elevate concentrazioni di questo parametro.

L'azoto totale disciolto – TDN (Figura 12) conferma sostanzialmente, per gli stessi motivi, il quadro emerso per il TDP, con il rio delle Procuratie e il rio Ognissanti caratterizzati dai punteggi più alti. Va segnalato il rio Priuli a Cannaregio che, pur non essendo il ricettore di scarichi di insediamenti di particolare importanza, è il rio più "lento" della città, con una velocità massima di 0,044 m/s.

Per quanto riguarda i metalli, anche lo zinco e il piombo (Figure 13 e 14) raggiungono i punteggi più alti nelle zone centrali della città, probabilmente a causa dei rilasci di questi metalli da processi di corrosione di strutture metalliche urbane (tubazioni, ecc.) o di vernici protettive (vernici al piombo), mentre il rame (Figura 15) mostra valori critici anche nei canali più esterni, caratterizzati da elevata densità di traffico di imbarcazioni a motore (Marittima, Canal Grande, Canale di Cannaregio, Giudecca), indizio di rilasci di questo metallo da parte delle vernici antivegetative utilizzate per la protezione delle dalle carene delle imbarcazioni. Diversa la distribuzione del cadmio (Figura 16), che risulta invece caratterizzare maggiormente le acque dei canali delle aree marginali (zona della Giudecca, Marittima e Arsenale), indice di fonti di contaminazione diverse da quelle tipicamente urbane.

La distribuzione dei composti aromatici, inquinanti tipicamente dell'inquinamento diffuso dovuto alla circolazione delle imbarcazioni a motore, sembra caratterizzare principalmente i rii interni della città e quelli più "lenti", evidenziando l'importanza dell'idrodinamica come fattore fondamentale nel determinare le caratteristiche delle acque dei rii. Diossine (PCDD/PCDF) e Policlorobifenili (PCB) risultano anch'essi maggiormente presenti nei rii centrali, ma sono presenti anche in alcune zone marginali (Tronchetto, Arsenale).



Figura 11. Localizzazione dei rii con le peggiori caratteristiche del TDP (Fosforo totale disciolto).

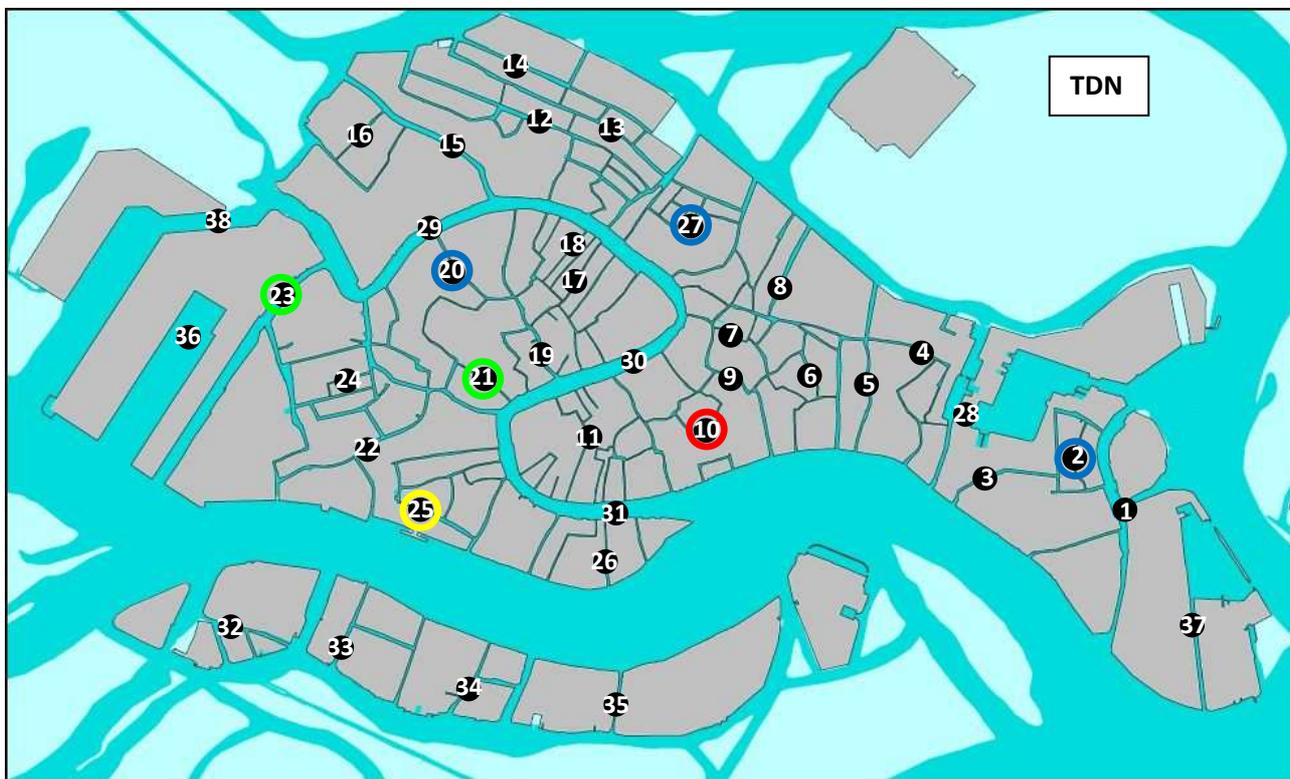


Figura 12. Localizzazione dei rii con le peggiori caratteristiche del TDN (Azoto totale disciolto).

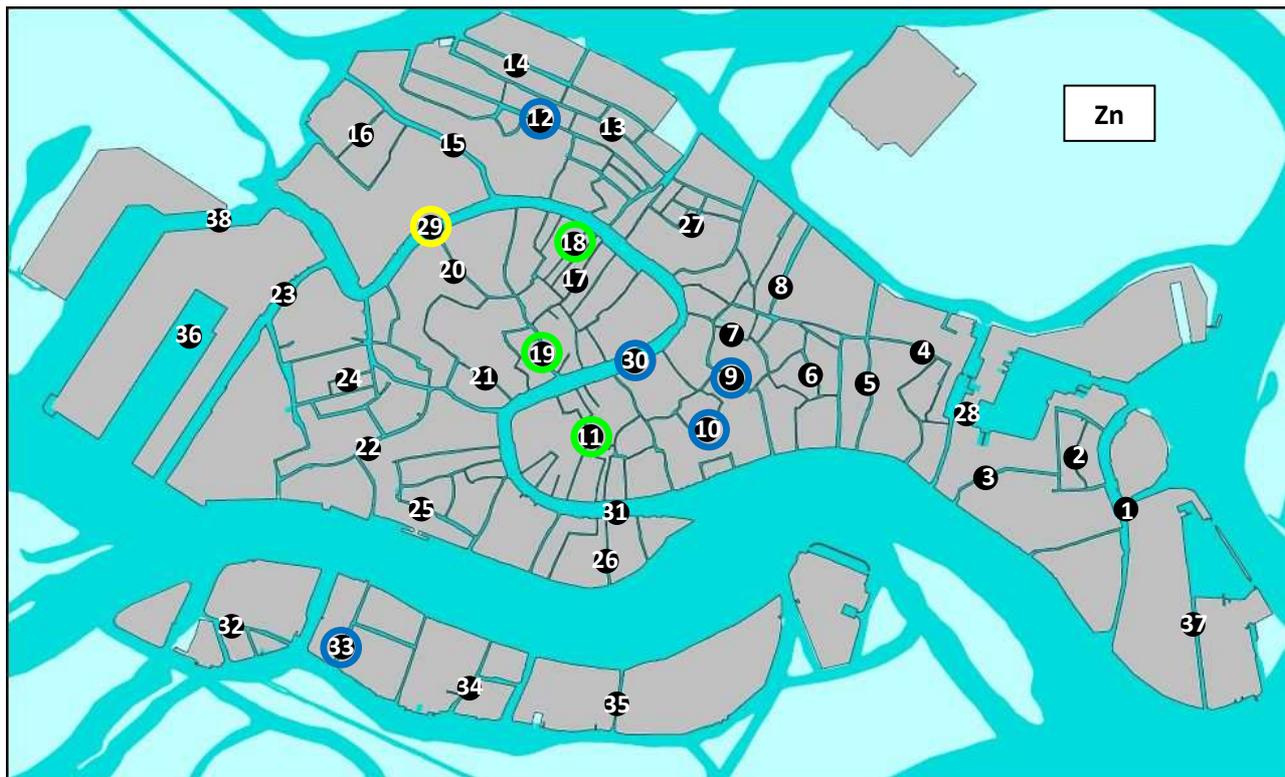


Figura 13. Localizzazione dei rii con le peggiori caratteristiche dello Zinco (Zn).



Figura 14. Localizzazione dei rii con le peggiori caratteristiche del Piombo (Pb).

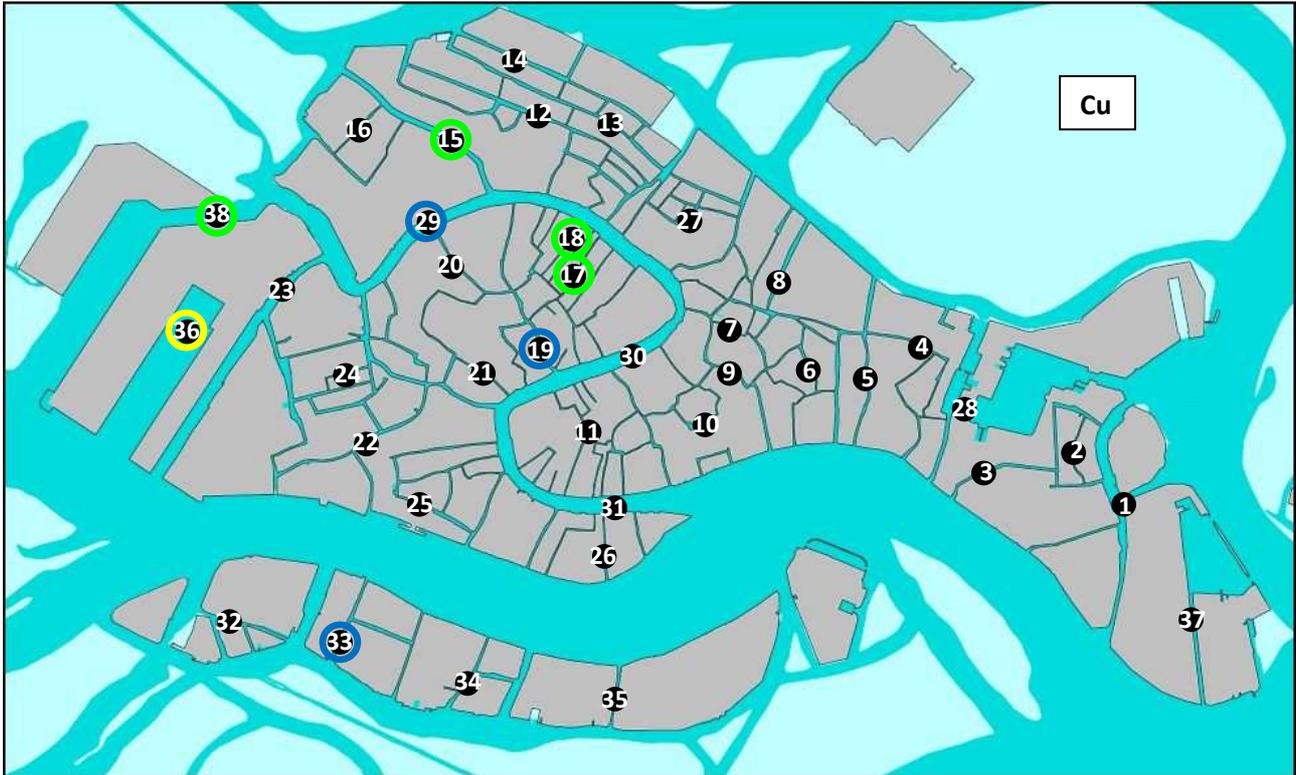


Figura 15. Localizzazione dei rii con le peggiori caratteristiche del Rame (Cu).



Figura 16. Localizzazione dei rii con le peggiori caratteristiche del Cadmio (Cd).

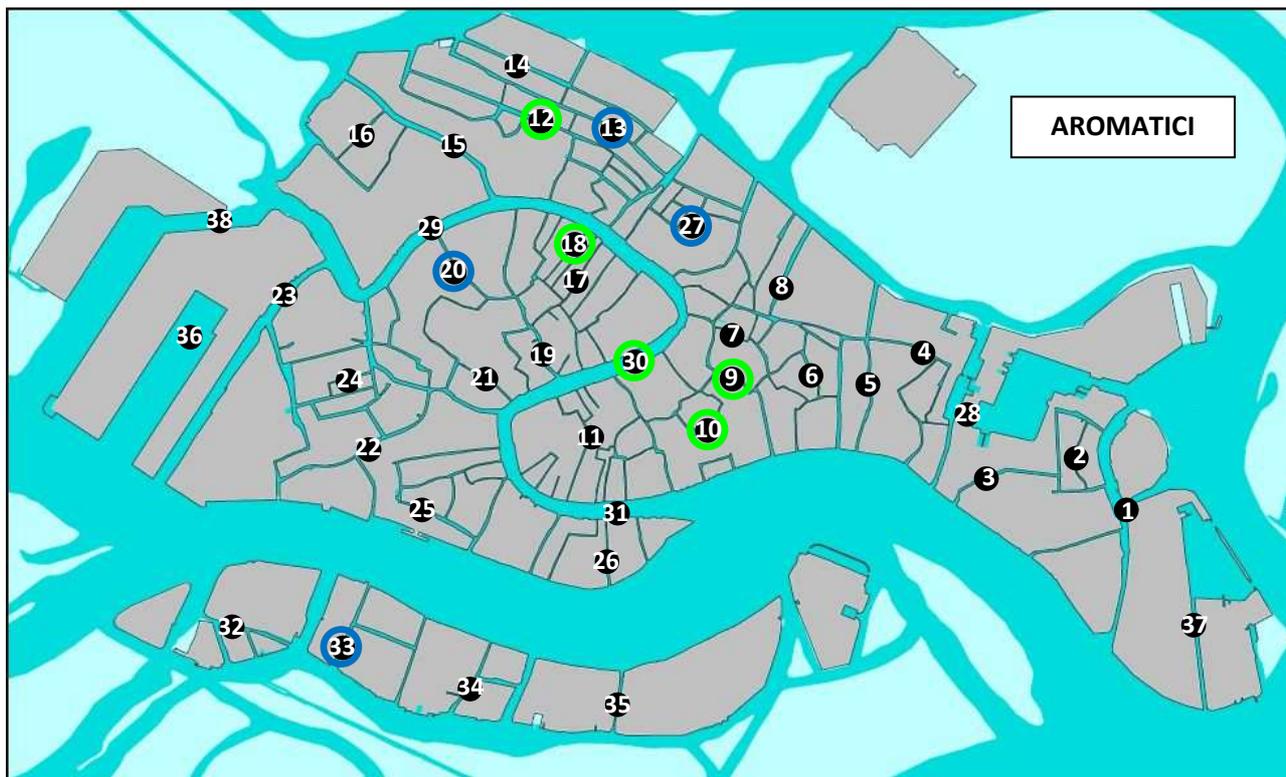


Figura 17. Localizzazione dei rii con le peggiori caratteristiche dei composti aromatici (somma di benzene, toluene, xileni).

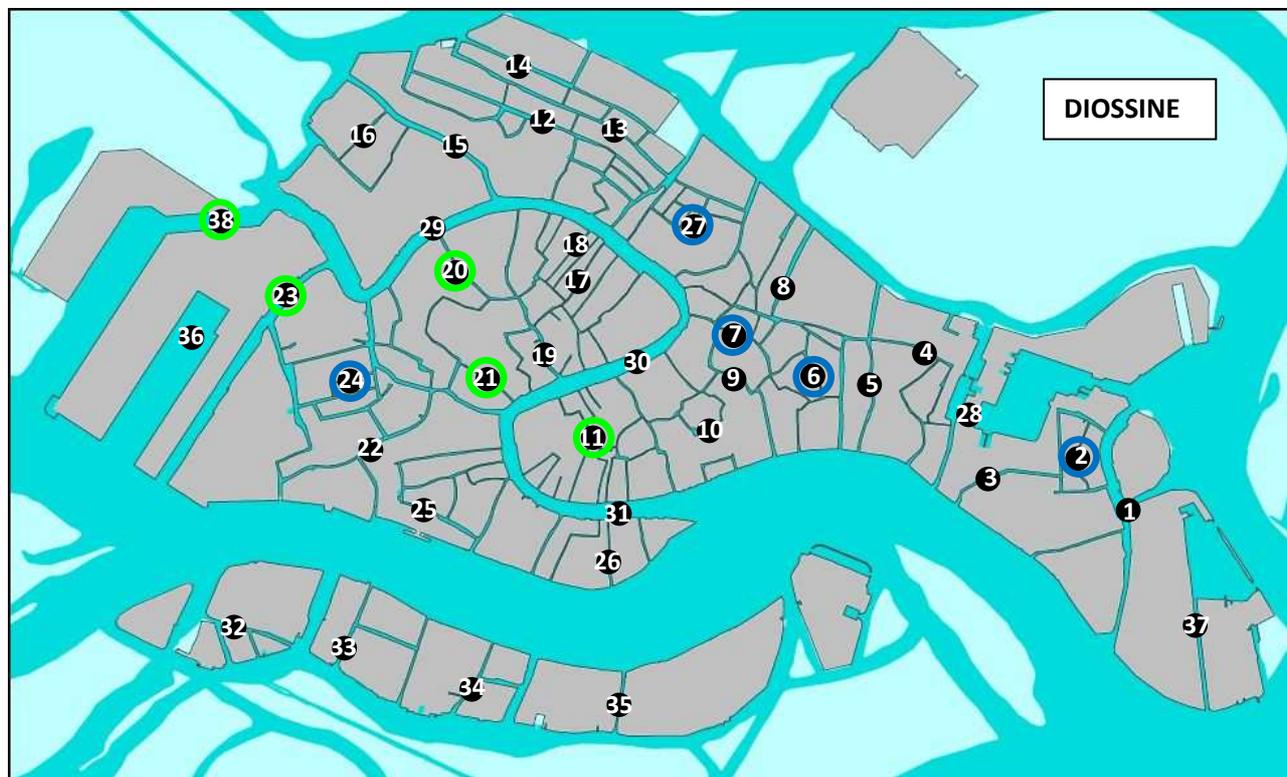


Figura 18. Localizzazione dei rii con le peggiori caratteristiche delle diossine (PCDD/PCDF).



Figura 19. Localizzazione dei rii con le peggiori caratteristiche dei policlorobifenili (PCB).

### 3.7. Il confronto con gli studi precedenti

Diversi autori si sono occupati, in passato, delle caratteristiche ambientali dei rii del centro storico. Tuttavia, come già anticipato, gli studi pregressi sono stati frammentari e parziali e hanno riguardato periodi temporali molto diversi e ambiti spaziali non omogenei. Inoltre, soprattutto per gli studi meno recenti, si hanno scarse informazioni sulle metodologie adottate per il prelievo e l'analisi dei campioni. Pur con queste premesse, alla luce dei risultati del presente studio e degli studi più recenti, è possibile affermare che, dal 1970, la qualità delle acque dei rii, almeno per quanto riguarda i parametri chimico-fisici e i macrodescrittori, è notevolmente migliorata.

Negli anni '70 il Ministero dei Lavori Pubblici - Magistrato alle Acque promosse un'indagine sulla qualità delle acque dei rii veneziani del sestiere di Cannaregio (10), propedeutica allo studio di fattibilità della rete fognaria della città, comprendente misure di nutrienti, ossigeno disciolto, tensioattivi (MBAS) e microrganismi patogeni (*Escherichia coli*). Il presente studio ha evidenziato, a circa 40 anni di distanza nelle stesse stazioni, concentrazioni di azoto ammoniacale, fosfati e BOD<sub>5</sub> decisamente più basse, fino a 7-8 volte inferiori. Parallelamente, anche l'ossigenazione dei rii è risultata migliore rispetto agli anni '70, quando venivano rilevate percentuali di saturazione nel periodo estivo mediamente del 55%. Nelle figure seguenti (Figg. 20 – 23) vengono messi a confronto i valori dei diversi parametri rilevati nello studio del 1971 con la media dei valori misurati nel presente studio in alta e in bassa marea. Come si può notare, anche nel 1971 la concentrazione dell'azoto ammoniacale e dei fosfati erano maggiori in estate che in inverno, mentre non si osservavano analoghi andamenti per il BOD<sub>5</sub>.

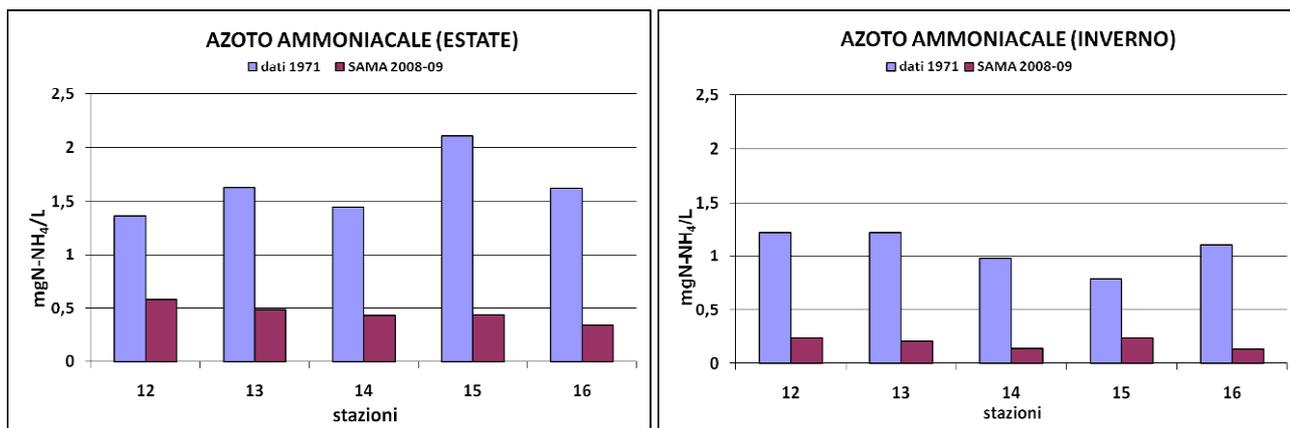


Figura 20. Confronto tra la concentrazione dell'azoto ammoniacale nelle acque dei rii del sestiere di Cannaregio nel 1971 e nel 2009.

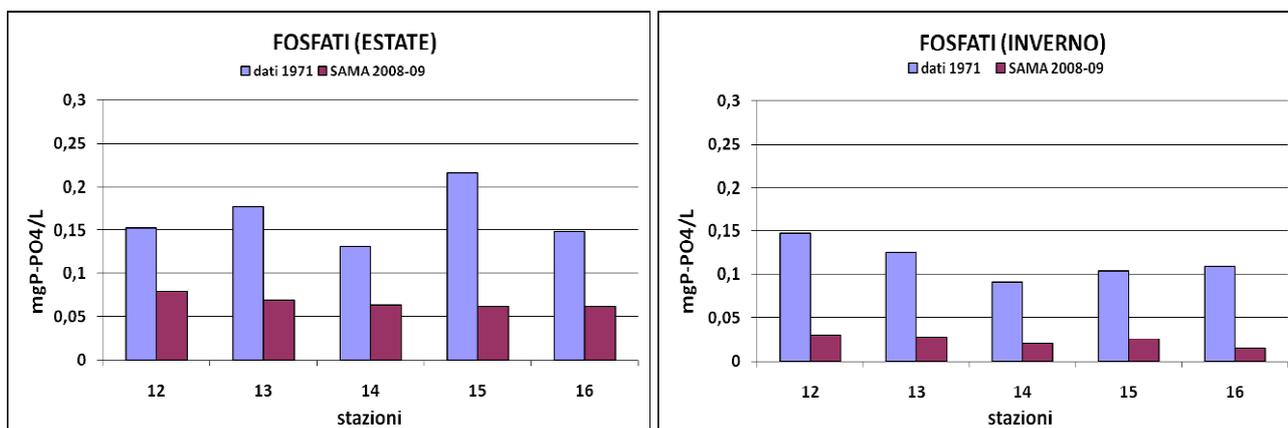


Figura 21. Confronto tra la concentrazione dei fosfati nelle acque dei rii del sestiere di Cannaregio nel 1971 e nel 2009

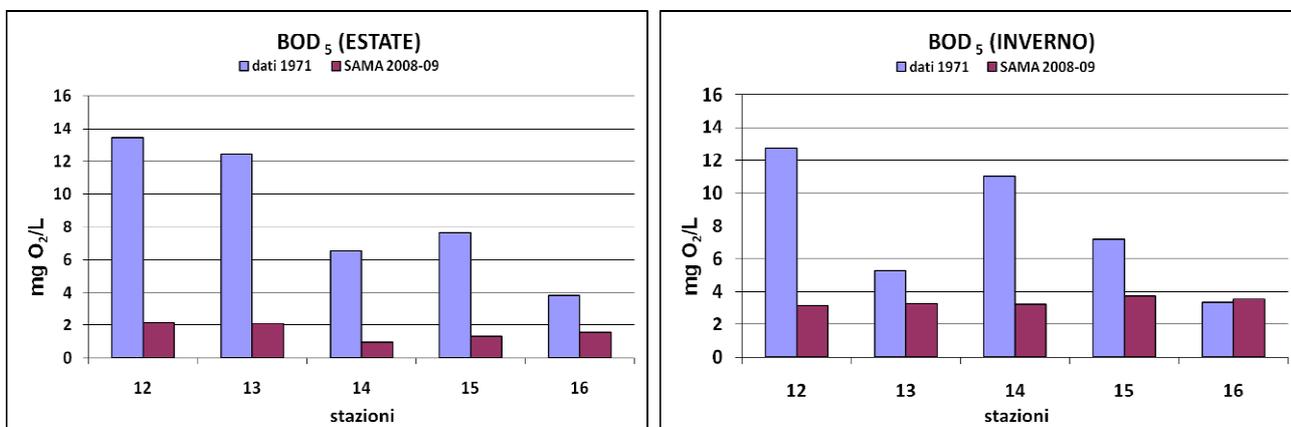


Figura 22. Confronto tra la concentrazione del BOD<sub>5</sub> nelle acque dei rii del sestiere di Cannaregio nel 1971 e nel 2009.

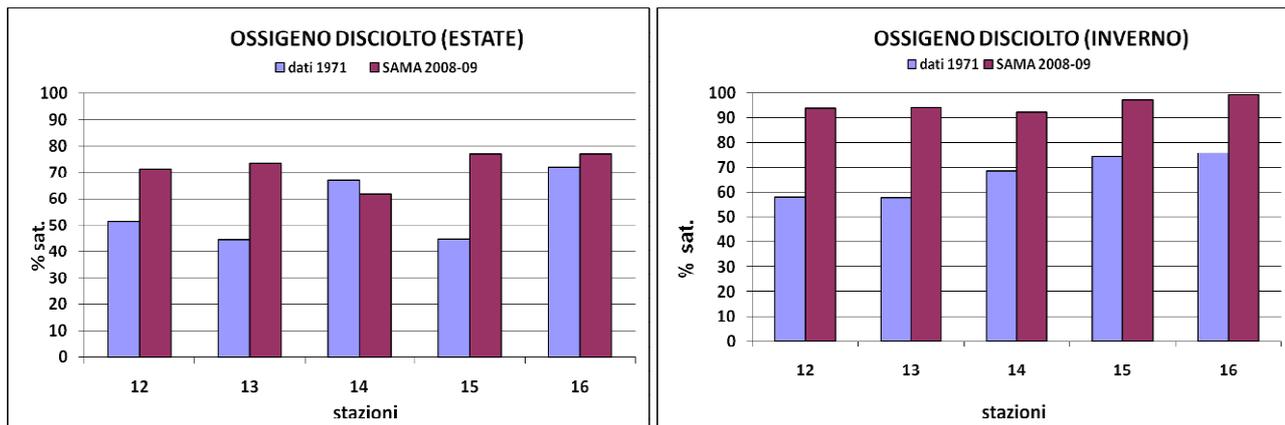


Figura 23. Confronto tra la percentuale di saturazione dell'ossigeno disciolto nelle acque dei rii del sestiere di Cannaregio nel 1971 e nel 2009.

Nello studio condotto da G. Zucchetto negli anni '80 vennero analizzate le acque di stazioni localizzate in diversi rii veneziani, nella stagione estiva e in diverse condizioni di marea. Le concentrazioni di ammoniaca e fosfati presentavano, in alcune stazioni, valori estremi rispettivamente di 5 e 7 mg/L, mentre l'ossigeno disciolto scendeva a valori minimi del 12%, in condizioni di bassa marea (11). Nelle figure seguenti (Figg. 24 – 26) sono confrontati i valori dei diversi parametri rilevati nello studio del 1983 con i valori misurati nel presente studio nel periodo estivo in alta e in bassa marea negli stessi canali.

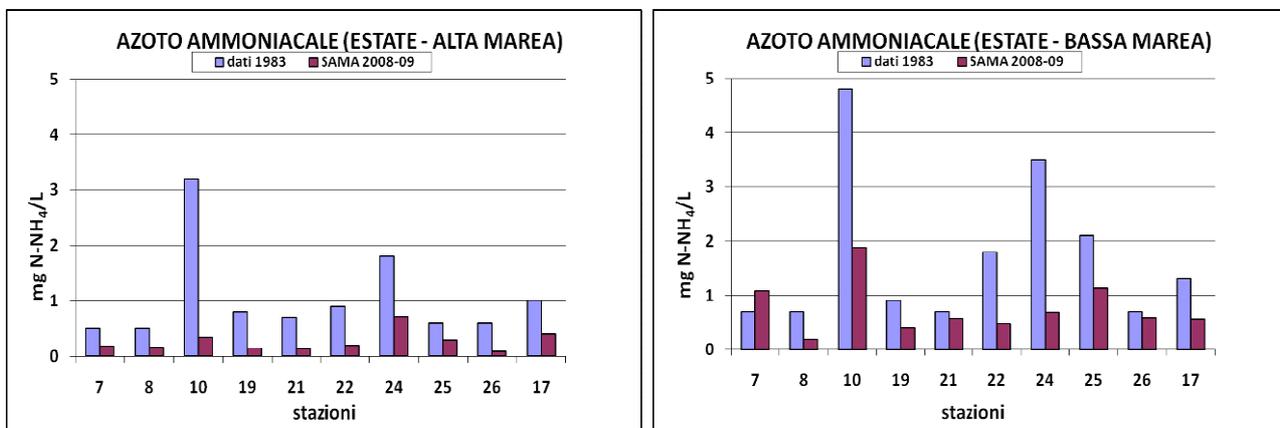


Figura 24. Confronto tra la concentrazione dell'azoto ammoniacale nelle acque dei rii nel 1983 (campagna G. Zucchetto) e nel 2009.

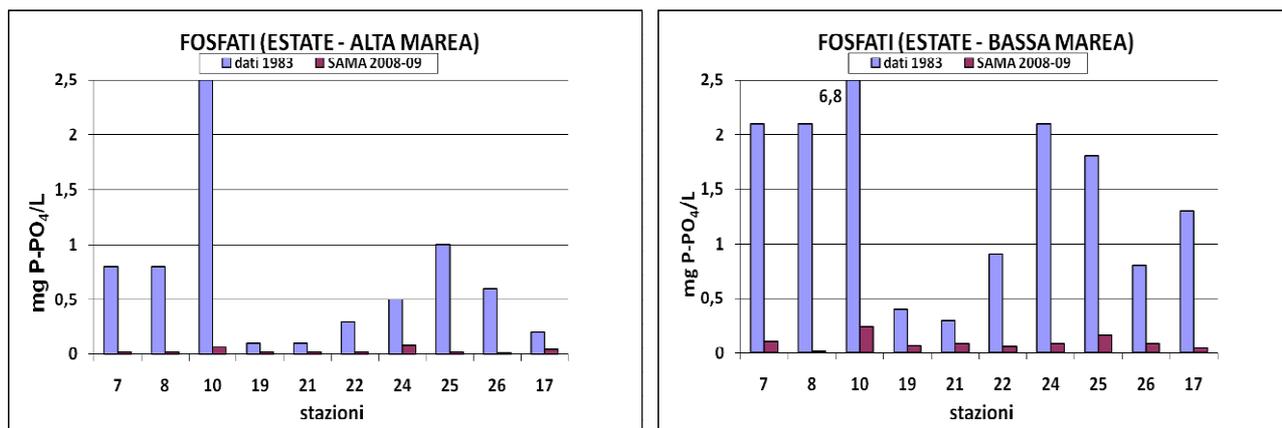


Figura 25. Confronto tra la concentrazione dei fosfati nelle acque dei rii nel 1983 (campagna G. Zucchetto) e nel 2009.

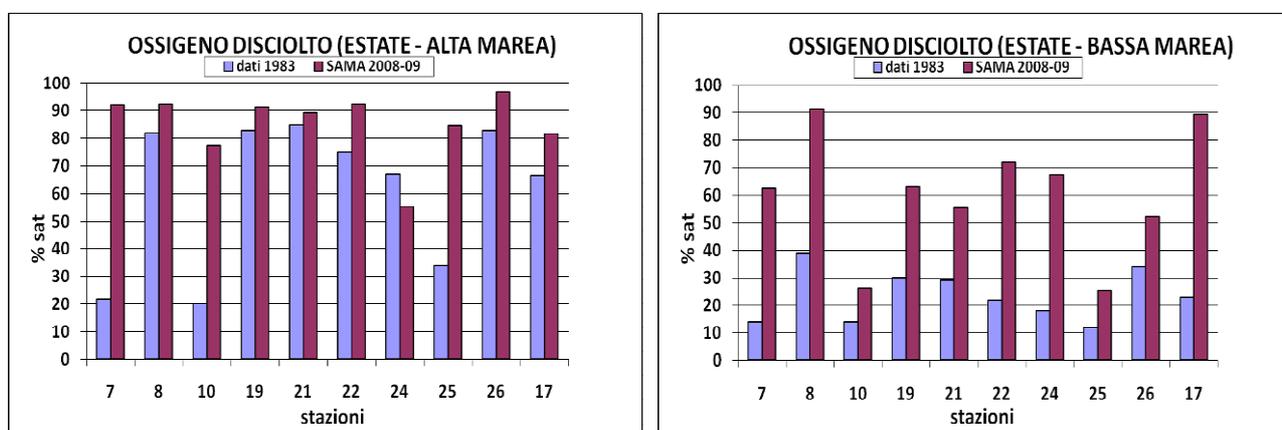


Figura 26. Confronto tra la percentuale di saturazione dell'ossigeno disciolto nelle acque dei rii nel 1983 (campagna G. Zucchetto) e nel 2009.

Le figure precedenti indicano che anche nel 1983 la concentrazione dell'azoto ammoniacale nei rii della città era sensibilmente maggiore di quella attuale, con valori massimi in alcuni rii (stazione 10, rio delle Procuratie e stazione 24, rio S.M. Maggiore). I valori elevati dell'azoto ammoniacale nelle stazioni 10 e 24 erano l'indizio della presenza di fonti specifiche di azoto ammoniacale di origine urbana; infatti, il rio delle Procuratie (stazione 10) è un rio interno e caratterizzato da vivacità ridotta (velocità 0.082 m/s), tuttora ricettore dei reflui di numerosi alberghi e ristoranti della zona retrostante piazza S. Marco, mentre il rio di S.M. Maggiore (stazione 24) lambisce la casa circondariale di detenzione maschile di Santa Maria Maggiore, un insediamento ad elevata densità abitativa.

Nel 1983 la concentrazione dei fosfati nelle acque dei rii risultava fino a 30 volte superiore rispetto ad oggi e maggiore anche rispetto allo studio del 1971. Tale incremento, riconducibile alla diffusione dei detersivi al fosforo e allo sviluppo dell'industria turistica, è la conferma che la città di Venezia è stata per anni una fonte significativa di fosforo, che ha influenzato negativamente l'ecosistema delle aree lagunari circostanti; non è casuale che la zona di Sacca Sessola sia stata, alla fine degli anni '80, una delle aree caratterizzate dal maggior sviluppo algale, con conseguenti fenomeni di anossia e morie di pesci. Come conseguenza della forte eutrofizzazione, anche l'ossigenazione delle acque risultava molto scarsa, con concentrazioni di ossigeno disciolto in alcuni canali prossime alle condizioni di anossia.

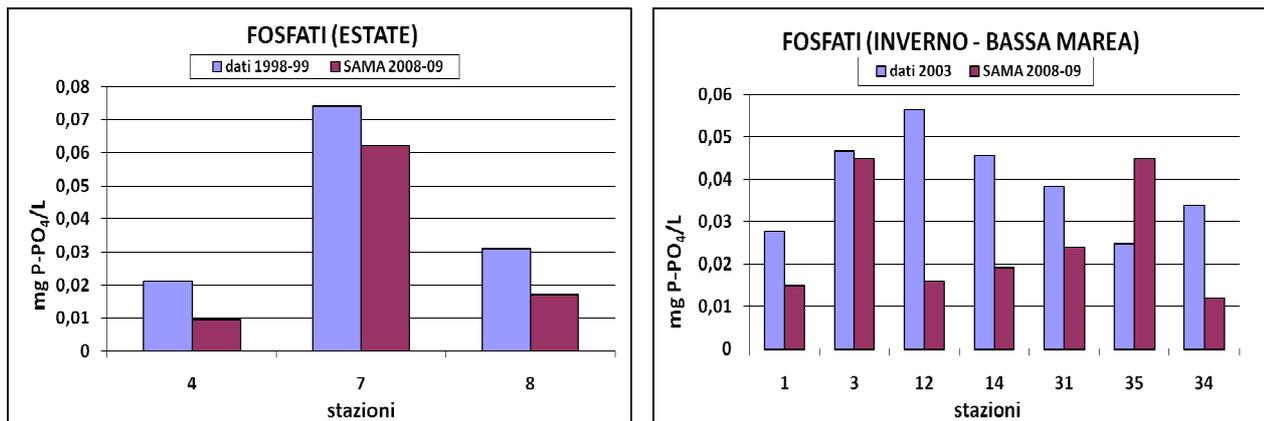


Sulla base dei risultati degli studi pregressi, sia quelli condotti sulle acque dei rii che quelli relativi alle caratteristiche delle acque lagunari nell'area compresa tra la zona industriale di Porto Marghera e la città di Venezia, si può senz'altro affermare che il periodo compreso tra gli anni '60 e gli anni '80 abbia rappresentato il periodo di massima contaminazione delle acque dei rii, sia per l'elevata contaminazione delle acque della laguna causata dagli scarichi industriali di Porto Marghera che per il contributo dovuto agli scarichi urbani non trattati.

Riguardo all'entità dell'inquinamento delle acque generato da Porto Marghera, lo studio condotto da A. Tiso nell'ambito dei lavori della Commissione di Studio dei provvedimenti per la conservazione e difesa della laguna di Venezia, accertò che nelle acque superficiali del canale Industriale Ovest la concentrazione dell'azoto ammoniacale era elevatissima, con valori medi attorno ai 70000 µg/L e un valore massimo di 208000 µg/L, misurato il 1 agosto del 1963 nel Canale di raccordo con il Naviglio di Brenta e la Darsena della Rana (25). A riprova di quanto siano migliorate le caratteristiche delle acque dell'area di Porto Marghera da allora ad oggi, i valori medi che vengono attualmente misurati nei punti sopra citati sono dell'ordine dei 500 µg/L, oltre 200 volte inferiori a quelli misurati negli anni '60. Lo stesso studio registrava all'inizio del Canale della Giudecca, nella zona compresa tra Sacca Fisola e la Marittima, concentrazioni medie di azoto ammoniacale in fase di marea uscente di 6500 µg/L, con un valore massimo di 11270 µg/L rilevato il 13 dicembre 1963, a conferma del fatto che il carico inquinante prodotto da Porto Marghera contribuiva in misura determinante nel condizionare la qualità delle acque della laguna centrale e quindi anche quelle dei rii del centro storico.

E' in quel periodo che furono emanate le leggi fondamentali per la tutela della laguna e della città di Venezia dall'inquinamento delle acque (L. 366/63, L. 171/73, L. 798/84), a seguito delle quali vennero intraprese importanti misure di adeguamento degli scarichi industriali di Porto Marghera, che produssero un sensibile miglioramento della qualità delle acque della laguna, come confermato dall'analisi storica dei dati di contaminazione delle acque lagunari condotta da R. Pastres (26). Tuttavia, gli interventi di adeguamento degli scarichi industriali non furono sufficienti a limitare l'abnorme sviluppo di macroalghe, i fenomeni di anossia e le morie di pesci che, a partire dalla metà degli anni '80 e fino all'inizio degli anni '90 interessarono la laguna, soprattutto nelle aree lagunari circostanti Venezia e Chioggia. Per questo, nel 1988 venne bandito in tutta la laguna l'uso dei detersivi contenenti fosforo e furono emanate nuove leggi speciali (L. 71/90 e successive modificazioni e integrazioni) che imposero l'adeguamento degli scarichi di tutti gli insediamenti dei centri storici di Venezia e Chioggia mediante l'adozione di sistemi di trattamento individuali. L'insieme di queste misure, associate al declino delle attività industriali di Porto Marghera, hanno ridotto considerevolmente la concentrazione degli inquinanti nei rii del centro storico e nelle acque della laguna rispetto ai valori massimi rilevati negli studi.

Riguardo agli studi più recenti, i risultati delle indagini del 1998-1999, eseguite solo in un numero limitato di stazioni nei canali prossimi all'Ospedale Civile di Venezia (13), e quelli dello studio del 2003 promosso dal Comune di Venezia (14), indicano il notevole miglioramento rispetto alle condizioni evidenziate nelle campagne precedenti e confermano che la tendenza alla riduzione della concentrazione dei fosfati nelle acque dei rii è proseguita anche negli anni successivi, fino alla campagna del presente studio. Infatti, dalla Figura 27, che mostra l'entità di questo miglioramento, si può osservare che, con la sola eccezione della sola stazione 35 (studio del Comune di Venezia, 2003), la concentrazione dei fosfati misurata nel 2008-2009 è inferiore a quella misurata nelle stesse stazioni negli studi precedenti più recenti.



**Figura 27. Confronto tra la concentrazione attuale (2008-2009) dei fosfati nelle acque dei rii e quella delle campagne del 1998-99 (campagna zona Ospedale Civile) e del 2003 (Comune di Venezia).**

Nel determinare il notevole recupero della qualità delle acque dei rii, hanno giocato un ruolo positivo sia il netto miglioramento delle acque della laguna dovuto alla riduzione degli apporti da Porto Marghera che l'imponente processo di adeguamento degli scarichi urbani avviato dal Comune di Venezia e dal Magistrato alle Acque a seguito dell'emanazione della L. 71/90. Questa legge e le successive modificazioni e integrazioni hanno imposto a tutti i soggetti pubblici e privati che esercitano scarichi nel centro storico l'adozione di trattamenti individuali degli scarichi. Dal 1990 ad oggi sono state realizzate nel centro storico di Venezia oltre 6500 fosse settiche e vasche condensagrassi al servizio di unità abitative e attività della ristorazione e oltre 130 impianti di depurazione biologici al servizio di insediamenti alberghieri e complessi residenziali, mentre la maggior parte dei cantieri nautici si è dotata di impianti di depurazione a circuito chiuso per le attività di lavaggio e manutenzione delle carene delle imbarcazioni.

L'effetto di questi adeguamenti sulla qualità delle acque dei rii è indubbio, anche se non facilmente quantificabile. Per quanto riguarda le fosse settiche, che nel contesto veneziano devono essere a 3 comparti, rettangolari e dimensionate per 0.4 m<sup>3</sup>/abitante, si possono prevedere, in condizioni di regolare manutenzione, ottimi rendimenti di abbattimento per i solidi sospesi e sedimentabili (oltre l'80 %), discreti per il BOD<sub>5</sub> e la carica microbica (rimozione del 30 %) e limitati per il fosforo e l'azoto (rispettivamente 10 % e 15 %) (27).

Rendimenti decisamente migliori sono quelli degli impianti biologici al servizio degli insediamenti di maggiori dimensioni (la normativa per Venezia prevede l'adozione di impianti biologici per insediamenti superiori a 100 abitanti equivalenti). Gli impianti realizzati a Venezia sono in massima parte dotati di sistemi di filtrazione finale su membrane, in grado di produrre un refluo di eccellente qualità, in cui i solidi sospesi e la carica batterica sono quantitativamente abbattuti e il fosforo e l'azoto ridotti in percentuale superiore a quella delle fosse settiche. Uno degli inconvenienti di questi impianti è rappresentato dai maggiori oneri di manutenzione e dalla necessità, in caso di malfunzionamento, di attivare la funzione di by-pass di emergenza, che comporta necessariamente lo scarico dei reflui non trattati.

E' interessante osservare che i sistemi basati sull'impiego di fosse settiche sono i più numerosi, ma la loro potenzialità è ridotta. Infatti, il dimensionamento medio di questi sistemi installati nell'ambito veneziano è relativo ad un'utenza media compresa tra 7 e 10 abitanti equivalenti, corrispondenti a fosse settiche di volume tra 2.8 e 4 m<sup>3</sup>. Questa capacità di trattamento specifica, moltiplicata per il numero di impianti di questo tipo (circa 6500), corrisponde ad una capacità di trattamento di circa 51.000 abitanti. Per contro, gli impianti di tipo aerobico sono molto meno numerosi, ma dotati di capacità di trattamento nettamente



superiore, compresa tra 275 e 325 abitanti equivalenti. Pertanto, sono circa 39.000 gli abitanti i cui reflui vengono oggi trattati nei 130 impianti di questo tipo realizzati in città. Questa considerazione è di grande importanza dal punto di vista dell'impatto sulla qualità dei rii perché il trattamento con questi impianti garantisce un abbattimento del carico inquinante decisamente superiore a quello ottenibile con le fosse settiche (17).

Sulla base delle stime più recenti dell'Ufficio Antinquinamento del Magistrato alle Acque, lo sviluppo del processo di adeguamento degli scarichi del centro storico ha superato il 50 % e la qualità delle acque dei rii, con il procedere degli adeguamenti, sarà suscettibile di ulteriori miglioramenti.

E' indubbio che il processo di adeguamento degli scarichi del centro storico deve necessariamente comprendere la gestione di questo importante, e forse unico al mondo, sistema di impianti decentralizzati. Per questo, il Magistrato alle Acque ha realizzato un sistema di telecontrollo (SISTEMAV – Sistema di Telecontrollo del Magistrato alle Acque di Venezia) dei 130 impianti di depurazione biologica presenti in città, che consente di verificare in tempo reale lo stato di funzionamento di ciascun impianto e di poter valutare nel tempo il loro rendimento. Questo sistema consente al Magistrato alle Acque di gestire in modo efficace l'attività di controllo di questi impianti e di intervenire con tempestività allorché si verificano anomalie nel loro funzionamento (17).

Per quanto riguarda i sistemi basati su fosse settiche e vasche condensa grassi, è noto che il rendimento depurativo ottimale decade rapidamente se non viene operata la loro corretta gestione, consistente nella periodica rimozione dei fanghi prodottisi e nella ispezione e pulizia dell'intero sistema. Attualmente, non esiste un piano di gestione delle fosse settiche e questo di tipo di interventi è lasciato all'iniziativa dei singoli utilizzatori, che procedono con l'espurgo dei fanghi delle fosse solo quando si manifestano inconvenienti di carattere igienico (intasamenti, odori, tracimazioni dei reflui). E' necessario che anche per questi sistemi venga implementato un sistema di gestione, svolto da operatori abilitati e sotto il controllo del Magistrato alle Acque e del Comune di Venezia, che garantisca la periodicità degli interventi su tutte le fosse settiche e condensa grassi della città.

#### **4. LE CARATTERISTICHE DEI SEDIMENTI DEI RII**

I contaminanti immessi nelle acque dei rii dagli scarichi o da fonti diffuse tendono ad associarsi al sedimento e ad accumularsi nel tempo, per questo i sedimenti conservano la "memoria" dei fenomeni di immissione, dispersione e deposizione degli inquinanti. In particolare, la frazione superficiale dei sedimenti dei rii è quella con la maggior rilevanza ambientale, in quanto interessata da processi di scambio con la colonna d'acqua e con gli organismi che la popolano.

I valori medi, massimi e minimi, i coefficienti statistici di deviazione standard e il coefficiente di variazione (CV%) dei diversi parametri analizzati nei sedimenti superficiali dei rii del centro storico e delle stazioni lagunari attorno alla città sono riportati nell'Appendice (Tabelle E – F). Nella seguente Tabella 13 sono riportati i valori medi delle concentrazioni dei contaminanti dei campioni di sedimento superficiale prelevati nelle 38 stazioni dei rii interni, nelle stazioni perimetrali poste a 500 metri dal limite urbano e nelle stazioni di Fusina (Ve-1), Campalto (Ve-2), Palude Maggiore (Ve-8) e Val di Brenta (Ve-10). Questi risultati sono stati messi a confronto con i limiti del Protocollo d'Intesa siglato l'8 aprile del 1993 dal Ministero dell'Ambiente, dai Comuni di Venezia e di Chioggia, dal Provveditorato al Porto di Venezia, dalla Regione Veneto e dal Magistrato alle Acque per la gestione dei sedimenti di dragaggio dei canali di Venezia. I sedimenti vengono suddivisi in 4 classi (A, B, C, superiore a C), caratterizzate da un livello di contaminazione crescente. In funzione della classe di appartenenza, i sedimenti sono destinati a diversi



riutilizzi e recapiti in laguna (ad esempio interventi di ripristino di morfologie lagunari, recupero e ripristino di isole lagunari). In particolare, i sedimenti conformi alla classe A possono essere riutilizzati per ricostruzioni della morfologia lagunare anche a diretto contatto con l'acqua, mentre i sedimenti appartenenti alle classi B e C possono essere riutilizzati per interventi in cui viene escluso il contatto con le acque della laguna; i sedimenti superiori ai limiti della colonna C, se non pericolosi, possono essere riutilizzati al di fuori della con terminazione lagunare.

I risultati di Tabella 13 sono confrontati anche con i limiti previsti per i sedimenti dal D.M. 56/2009 per la classificazione dello stato chimico dei corpi idrici in ambito marino-costiero che individua, per le sostanze prioritarie della Tabella 2/A e non prioritarie della Tabella 3/B, gli standard di qualità ambientale dei sedimenti che rappresentano la concentrazione da rispettare al fine di raggiungere o mantenere il buono stato chimico. Infine, per una prima classificazione dei sedimenti lagunari sulla base del livello di tossicità associato alla contaminazione chimica, viene proposto il confronto con i valori delle linee guida per la qualità dei sedimenti (SQG – Sediment Quality Guidelines) sviluppate da Apitz et al. (28). In particolare, sono state definite una SQG di non effetto, denominata TEC (I) (Threshold Effect Concentration), una SQG di effetto probabile PEC (I) (Probable Effect Concentration) e una SQG di effetto estremo EEC (I) (Extreme Effect Concentration).

I risultati di Tabella 13 indicano chiaramente che i sedimenti superficiali dei rii del centro storico sono caratterizzati, per la maggior parte dei parametri, da concentrazioni più elevate rispetto ai fondali delle aree lagunari che circondano la città. Questa valutazione conferma quanto evidenziato in studi pregressi che indicano che il centro storico di Venezia rappresenta un'area ad elevata contaminazione rispetto alle aree limitrofe (15, 29).

Per quanto riguarda i metalli, i rii si contraddistinguono per livelli di cadmio, mercurio, piombo, rame, zinco e antimonio mediamente più elevati (da 2 a 5 volte maggiori) rispetto alle aree limitrofe (500 m) e alle stazioni lagunari esterne e riflettono sia la presenza di sorgenti puntuali di contaminazione, quali l'inquinamento di origine domestica e quello derivante dalle attività produttive e commerciali, che l'influsso di sorgenti diffuse, come il dilavamento delle acque meteoriche dell'area urbana e l'intenso traffico delle imbarcazioni a motore che caratterizza il centro storico veneziano. In particolare, il cadmio è utilizzato nelle batterie ed è presente nei pigmenti di numerose vernici e un tempo veniva utilizzato come stabilizzante per il PVC e nell'industria galvanica. Il mercurio negli ambienti urbani può essere presente a causa di rilasci da farmaci, batterie, termometri, pesticidi, mentre il rame, lo zinco e il piombo possono derivare dal sistema di distribuzione dell'acqua e da materiali utilizzati nell'edilizia. Il rame, inoltre, può essere presente nelle vernici antivegetative delle carene delle imbarcazioni, da dove viene rilasciato gradualmente in forma disciolta per rallentare la crescita degli organismi incrostanti (30) e lo zinco viene utilizzato come anodo sacrificale per prevenire la corrosione dei motori marini e degli scafi.



**Tabella 13. Concentrazione media degli inquinanti nei sedimenti dei rii, delle stazioni comprese in una fascia di 500 m dalla città di Venezia e delle stazioni lagunari Fusina Ve-1, Campalto Ve-2, Palude Maggiore Ve-8 e Val di Brenta Ve-10.**

PARAMETRO	Unità di misura	CONCENTRAZIONE MEDIA						STANDARD DI RIFERIMENTO						
		CITTA'	FASCIA 500m	Ve-1	Ve-2	Ve-8	Ve-10	PROTOCOLLO FANGHI			D.M. 56/09 SQA-MA Tab 2/A (Tab 3/B)	TEC (I)	PEC (I)	EEC (I)
								A	B	C		Apitz <i>et al.</i> , 2007 (28)		
As	mg/kg ss	21	14	17	19	15	17	15	25	50	(12)	16,11	54,32	227,6
Hg	mg/kg ss	2,2	0,7	0,9	0,8	2,0	0,2	0,5	2	10	0,3	0,18	0,66	4,82
Cd	mg/kg ss	1,2	0,5	0,7	0,3	0,2	0,2	1	5	20	0,3	1,04	5,76	29,21
Sb	mg/kg ss	0,8	0,2	0,1	0,2	0,2	0,1	-	-	-	-	-	-	-
Pb	mg/kg ss	95	23	26	29	10	14	45	100	500	30	52,99	296,04	1056,2
Ni	mg/kg ss	20	12	11	19	10	19	45	50	150	30	23,2	58,28	298,4
Mn	mg/kg ss	305	283	305	384	254	384	-	-	-	-	-	-	-
V	mg/kg ss	33	23	19	33	25	23	-	-	-	-	-	-	-
Cr	mg/kg ss	35	17	14	26	17	23	20	100	500	(50)	78,33	268,48	1038,4
Cu	mg/kg ss	150	26	28	31	11	18	40	50	400		38,18	214,64	1076,2
Fe	mg/kg ss	17389	13020	14520	19170	10900	20070	-	-	-	-	-	-	-
Zn	mg/kg ss	353	132	183	119	51	82	200	400	3000		153,5	396,2	1645
Benzo(a)pirene	µg/kg ss	1211	81	< 50	< 50	< 50	< 50	-	-	-	30	-	-	-
Benzo(b)fluorantene	µg/kg ss	1450	79	< 50	< 50	< 50	< 50	-	-	-	40	-	-	-
Benzo(k)fluorantene	µg/kg ss	878	64	< 50	< 50	< 50	< 50	-	-	-	20	-	-	-
Benzo(g,h,i)perilene	µg/kg ss	746	54,5	< 50	< 50	< 50	< 50	-	-	-	55	-	-	-
Indenopirene	µg/kg ss	702	58	< 50	< 50	< 50	< 50	-	-	-	70	-	-	-
Antracene	µg/kg ss	275	< 50	< 50	< 50	< 50	< 50	-	-	-	45	-	-	-
Fluorantene	µg/kg ss	2212	125	68	< 50	< 50	108	-	-	-	110	-	-	-
Naftalene	µg/kg ss	<50	< 50	< 50	< 50	< 50	< 50	-	-	-	35	-	-	-
IPA totali	µg/kg ss	16830	919	< 50	< 50	< 50	< 50	1000	10000	20000	(800)	2680	23330	123660
Esaclorobenzene HCB	µg/kg ss	0,63	0,21	0,84	< 0,002	0,19	0,11	-	-	-	0,4	-	6	30
Σdiossine e PCB-DL	µg WHO-TE/kg ss	0,0164	0,0055	0,0082	0,0007	0,0003	0,0002	-	-	-	(0,002)	-	-	-
PCB totali	µg/kg ss	124	9,3	7,7	3,7	3	2,4	10	200	2000	(8)	67	175	873
2-bis Etilsilftalato	µg/kg ss	835	116	102	63	93	83	-	-	-	-	-	-	-

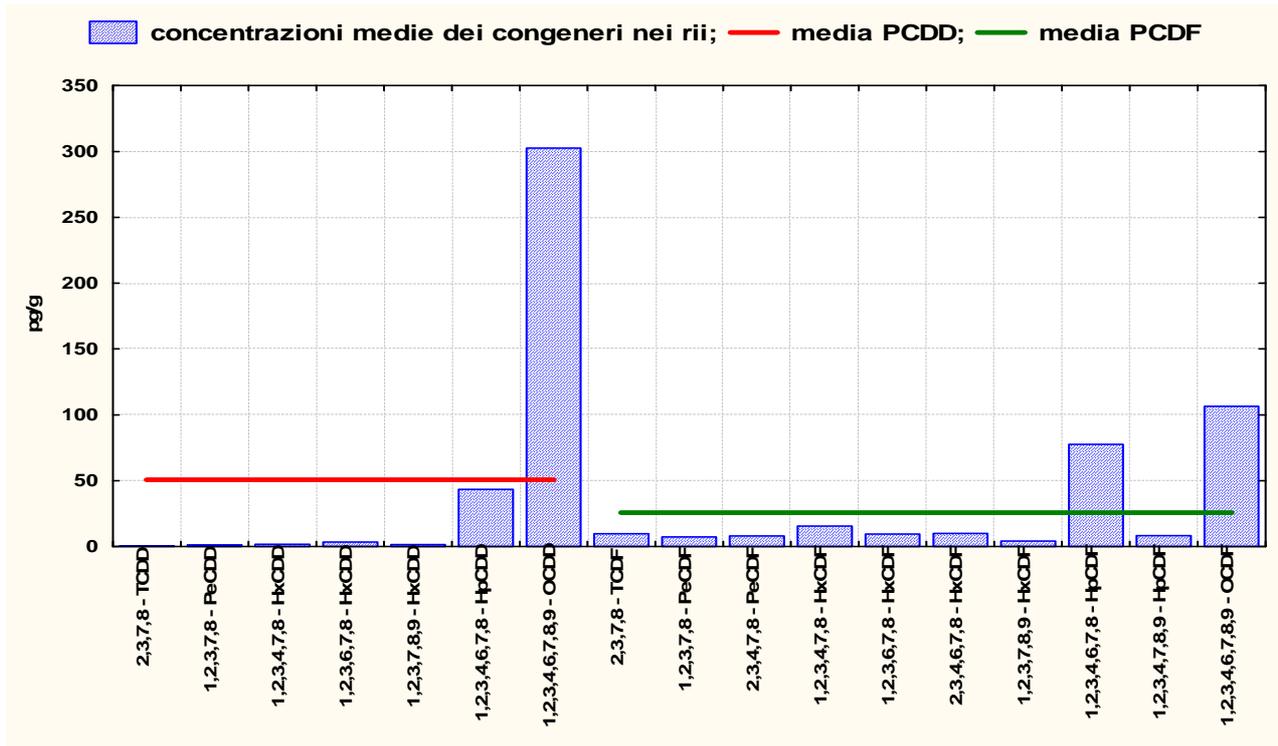


Le concentrazioni nei sedimenti delle aree perimetrali evidenziano livelli di contaminazione inferiori a quelli dei rii veneziani e confrontabili con quelli delle stazioni lagunari di Fusina (Ve-1) e Campalto (Ve-2).

Anche per quanto riguarda gli inquinanti organici, i sedimenti dei rii hanno livelli di contaminazione superiori rispetto alle aree circostanti e alle stazioni lagunari esterne, dove le concentrazioni sono risultate spesso inferiori ai limiti di quantificazione dei metodi analitici applicati. La contaminazione dei microinquinanti organici diminuisce sensibilmente passando dai rii alle aree lagunari perimetrali poste a 500 m dal centro storico. A loro volta, le aree perimetrali sono caratterizzate da livelli di IPA più elevati rispetto alle stazioni lagunari esterne (Ve-1, Ve-2, Ve-8 e Ve-10), mentre per Diossine, PCB e 2 bis-Etilsilftalato le concentrazioni sono comparabili a quelle misurate nel sito di Fusina (Ve-1).

I PCB nei sedimenti dei rii derivano principalmente dai reflui urbani, in quanto questi contaminanti sono presenti nei rifiuti del metabolismo umano e nei residui alimentari. L'uso dei PCB è vietato dalla metà degli anni '80 ma, a causa dell'elevata persistenza ambientale, questi composti sono diffusi in modo ubiquitario nell'ecosistema e si accumulano negli organismi lungo la catena alimentare. Studi sull'evoluzione temporale della contaminazione dei sedimenti hanno evidenziato una diminuzione negli ultimi vent'anni, sia per il miglioramento dei sistemi depurativi degli impianti di trattamento che per la riduzione degli apporti e i naturali processi di degradazione (31).

Le Diossine sono composti con struttura simile ai PCB, che subiscono gli stessi processi di bioaccumulo lungo la catena alimentare. Oltre a formarsi nel corso di generici processi di combustione, le diossine hanno anche un'origine industriale; in ambito lagunare, un'importante fonte di contaminazione dei sedimenti lagunari è stata, in passato, il processo di produzione degli idrocarburi clorurati. Grazie alle moderne tecniche di analisi, è possibile distinguere l'origine della diossina dall'analisi dei congeneri: la diossina che si ritrova nei rifiuti del metabolismo umano è caratterizzata dalla prevalenza del congenere OCDD (OctaCloroDibenzoDiossina), mentre quella che si origina nel processo di produzione degli idrocarburi clorurati è caratterizzata dalla preponderanza del congenere OCDF (OctaCloroDibenzoFurano) (32). Nella quasi totalità dei sedimenti dei rii l'OCDD prevale sull'OCDF, segno che le fonti di contaminazione prevalenti sono gli scarichi dei reflui della città (Figura 28).



**Figura 28. Distribuzione media dei 17 congeneri della diossina nei sedimenti dei rii interni. La netta prevalenza dell'OctaCloroDibenzoDiossina (OCDD) sugli altri congeneri dimostra che la fonte principale della contaminazione deriva dagli scarichi urbani.**

Nelle aree perimetrali, a distanza di 500 metri dalla città, la concentrazione di diossina scende sensibilmente e le abbondanze relative di OCDD e OCDF diventano simili, segno di un contributo sia della diossina degli scarichi urbani che di quella della produzione degli idrocarburi clorurati. Va sottolineato che in nessuno dei sedimenti è stata rilevata la TCDD (TetraCloroDibenzoDiossina), il congenero più tossico.

Tra le attività antropiche che contribuiscono all'immissione degli IPA nei rii del centro storico, il contributo preponderante è dovuto al traffico acquico. Lo studio della distribuzione degli isomeri degli IPA conferma che la contaminazione è associata prevalentemente alle emissioni delle imbarcazioni a combustione interna. Infatti, i rapporti specifici antracene/(antracene+fenantrene) e fluorantene/(fluorantene+pirene), proposti per stimare le sorgenti degli IPA (33), risultano rispettivamente superiori a 0.1 e 0.4, indicando quale sorgente principale di IPA la combustione incompleta di prodotti petroliferi, come peraltro confermato negli studi precedenti (31).

La generale diminuzione dei livelli di concentrazione degli inquinanti riscontrata nelle aree lagunari perimetrali sembra evidenziare una scarsa influenza della contaminazione del centro storico sullo stato di qualità dei fondali lagunari. Come già riportato in Tabella 6, nell'ambiente lagunare e in particolare in quello dei rii, il particolato in sospensione favorisce l'adsorbimento degli inquinanti disciolti nella colonna d'acqua; le condizioni di vivacità idrodinamica e profondità ridotte che caratterizzano la maggior parte dei rii, favoriscono la sedimentazione del particolato sospeso, che si deposita sul fondo dei canali accumulando gli inquinanti. Ciò suggerisce che la distribuzione spaziale e l'accumulo degli inquinanti nei sedimenti resta confinato in prossimità delle sorgenti di contaminazione. Il sedimento superficiale gioca pertanto un ruolo importante nella rimozione di inquinanti dalle acque, agendo da sequestrante e serbatoio di stoccaggio dell'inquinamento delle acque dei rii; tuttavia, i contaminanti accumulati nei sedimenti, a seconda delle condizioni (salinità, temperatura, condizioni ossido-riduttive), possono risolubilizzarsi e i sedimenti possono



divenire a loro volta una sorgente diffusa di contaminazione della colonna d'acqua. Per questo motivo, i sedimenti devono essere periodicamente monitorati e rimossi, allorché la loro contaminazione risulti eccessiva.

In un'indagine estensiva effettuata sui sedimenti dei rii veneziani negli anni 1994-2000 (29), si riportano concentrazioni medie di IPA (15300 µg/kg), comparabili a quelle osservate nei campioni di sedimenti superficiali del presente studio; per quanto riguarda i metalli e i PCB, i livelli attuali sono mediamente inferiori a quelli degli anni 1994-2000 (Hg 3.7 mg/kg, Cd 6.6 mg/kg, Pb 222 mg/kg, Cu 245 mg/kg e Zn 889 mg/kg, PCB 595 µg/kg).

Nella Tabella 14 viene riportata la distribuzione dei 38 campioni di sedimento superficiale prelevati nei rii rispetto alla quattro classi del Protocollo d'Intesa del 1993 (A, B, C, >C). Per quanto riguarda As, Hg, Cd, Pb e Zn, una percentuale dei campioni compresa tra il 40 % e il 55 % è attribuibile alla classe B del Protocollo. Il superamento della colonna B del Protocollo si verifica nel 26 % dei campioni per As e Zn, nel 39 % e 55 % dei casi rispettivamente per Pb e Hg, mentre nel caso del Cu il superamento del valore soglia di 50 mg/kg per la classe B si verifica nella quasi totalità dei campioni (96 % dei casi). Per quanto riguarda Hg e Cu, nessuno dei campioni è risultato conforme alla colonna A del protocollo.

Per quanto riguarda i microinquinanti organici, relativamente agli IPA, solo il 2 % dei campioni è risultato conforme alla classe A del protocollo, il 46 % ricade entro la classe B e il 26 % entro la classe C, mentre il restante 26 % supera il valore di soglia della classe C. Diversa è la situazione dei PCB, per i quali il 76 % dei campioni rientra nei limiti della colonna B e il rimanente 24 % appartiene alla classe C, mentre nessun campione è risultato conforme alla classe A.

Complessivamente, secondo la classificazione del Protocollo d'Intesa, il 70 % dei campioni dei sedimenti dei rii è di classe C, mentre il 28 % supera i limiti della classe C e solo il 2 % è conforme alla classe B. Nessuno dei sedimenti è risultato conforme alla classe A del Protocollo. Il Cu è il parametro che pesa in misura maggiore nel determinare la classificazione in C, a cui seguono Hg e Pb, mentre per l'attribuzione alla classe superiore a C risultano determinanti i superamenti degli IPA rispetto ai limiti stabiliti dal Protocollo.

**Tabella 14. Distribuzione del numero dei campioni dei rii veneziani analizzati nelle quattro classi del Protocollo d'Intesa del 1993**

PARAMETRO	Classi del Protocollo d'Intesa del 1993			
	A	B	C	>C
	Frequenza dei campioni (%)			
As	26	48	26	-
Hg	-	45	55	-
Cd	47	53	-	-
Pb	8	53	39	-
Ni	100	-	-	-
Cr	5	95	-	-
Cu	-	2	96	2
Zn	14	58	26	-
Σ PCB	-	24	76	-
Σ IPA	2	46	26	26
Totale rii	-	2	70	28



Per quanto riguarda le aree situate in una fascia di 500 m dal centro urbano, i sedimenti superficiali risultano di classe B, ad eccezione della stazione esterna in prossimità della bocca di porto del Lido che appartiene alla classe A. Le stazioni lagunari esterne al centro storico sono tutte caratterizzate da sedimenti attribuibili alla classe B del Protocollo d'Intesa. La classificazione dei sedimenti in classe B risente principalmente dei superamenti del Hg. In particolare, il valore relativamente elevato di Hg nella stazione di Palude Maggiore è confermato da studi pregressi che indicano simili concentrazioni nel bacino lagunare nord (16).

Relativamente agli standard di qualità ambientale dei sedimenti per la valutazione dello stato chimico dei corpi idrici stabiliti dal D.M. 56/2009, la maggior parte dei campioni non soddisfa i requisiti del decreto. Nel caso dei metalli, solamente As e Pb presentano una percentuale di campioni, inferiore al 10 %, con valori di concentrazione inferiori allo SQA-MA del D.M. 56/2009, mentre per i microinquinanti organici la totalità dei campioni analizzati presenta concentrazioni più elevate dell'SQA-MA (circa 20 volte maggiore nel caso degli IPA e 15 nel caso dei PCB). Per quanto riguarda l'Esaclorobenzene, circa il 70% dei campioni supera lo standard di qualità (0.4 µg/kg).

A livello internazionale, un approccio comunemente adottato nella fase iniziale (screening) dell'analisi di rischio ecologico è basato sul confronto dei dati disponibili relativi alla contaminazione chimica dei sedimenti con le "Linee Guida per la Qualità dei Sedimenti" (SQG – Sediment Quality Guidelines). Recentemente Apitz et al. (28) hanno individuato, sulla base di un'ampia letteratura scientifica, linee guida per la qualità dei sedimenti (SQG) a valenza internazionale, che valutano il potenziale effetto tossicologico delle miscele di inquinanti nei sedimenti al fine di ottenere una prima classificazione dei sedimenti sulla base del livello di tossicità (tossicità assente, possibile, probabile o estremamente probabile) (16). In particolare sono state definite una SQG di non effetto, denominata TEC (I) (Threshold Effect Concentration), una SQG di effetto probabile PEC (I) (Probable Effect Concentration) e una SQG di effetto estremo EEC (I) (Extreme Effect Concentration). Il confronto dei dati di contaminazione dei campioni dei sedimenti dei rii veneziani con le SQG (Tabella 13) evidenzia un frequente superamento della soglia TEC (I), al di sopra della quale si ritengono possibili gli effetti tossici, con una frequenza percentuale variabile dal 50% dei campioni per il Cd al 90% nel caso del Cu.

Il superamento della concentrazione soglia di effetti tossici probabili, PEC (I), riguarda circa il 10% dei campioni per il Cu, il 30% per lo Zn e il 20% nel caso degli IPA e PCB. Il Hg, invece, supera la soglia di effetto probabile nel 95% dei sedimenti analizzati mentre nel rimanente 5% le concentrazioni sono superiori alla soglia di effetto estremo, EEC (I).

A questo proposito, va evidenziato che per il mercurio le soglie TEC (I), PEC (I) e EEC (I) sono sensibilmente inferiori rispetto ai limiti di concentrazione per le classi A, B e C del Protocollo d'intesa. Per quanto riguarda il Cr, invece, la soglia di non effetto TEC (I) (78,33 mg/kg ss) è quattro volte superiore al limite della classe A del Protocollo del 1993; tutti i campioni analizzati risultano inferiori a questo limite e quindi, per questo elemento, non suscettibili di produrre effetti tossici. Va inoltre segnalato che numerosi studi hanno evidenziato per i sedimenti lagunari concentrazioni di fondo per il Cr superiori a 20 mg/kg (limite per la classe A), evidenza che, assieme alle considerazioni tossicologiche sviluppate per la determinazione degli SQG, potrebbe supportare, per il Cr, l'adeguamento dei valori della soglia della classe A a limiti più tolleranti.



Nella Figura 29 vengono mostrate le distribuzioni cumulative dei campioni dei sedimenti dei rii per alcuni contaminanti in relazione agli SQG e agli SQA-MA del D.M. 56/2009.

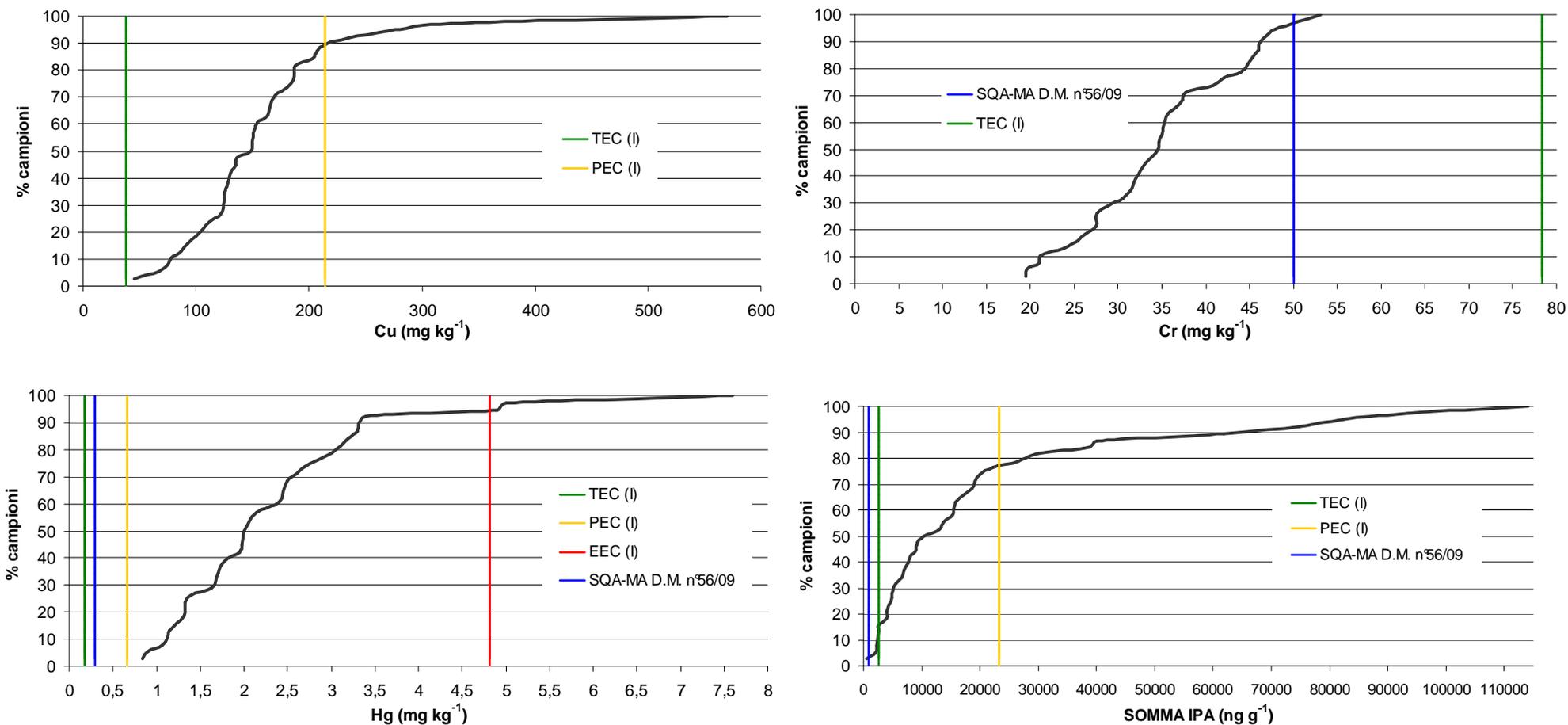


Figura 29. Distribuzione cumulativa dei campioni dei sedimenti dei rii rispetto alla concentrazione di Cu, Cr, Hg e IPA totali e confronto con SQG di non effetto TEC (I), SQG di effetto probabile PEC (I) e SQG di effetto estremo EEC (I) (28) e con gli standard di qualità ambientale SQA-MA del D.M. 56/09.



## 5. TEST DI BIOACCUMULO SU ORGANISMI FILTRATORI NELLE ZONE LAGUNARI PERIMETRALI AL CENTRO URBANO

Per bioaccumulo si intende il processo che provoca un aumento della concentrazione di una specie chimica che risulta biodisponibile per l'organismo, in confronto alla concentrazione che caratterizza l'organismo nel suo ambiente naturale. Una volta che la specie chimica è stata bioaccumulata, entra nella catena alimentare e può, a seconda delle sue caratteristiche chimico-fisiche, essere soggetta a biomagnificazione, vale a dire quel processo per cui la concentrazione della sostanza nell'organismo è superiore a quella degli organismi che costituiscono la sua dieta, condizione tipica dell'uomo che si trova al vertice della catena alimentare.

La misura della tendenza al bioaccumulo negli organismi acquatici è molto importante per quelle sostanze caratterizzate da elevata tossicità che concorrono alla dieta alimentare; queste sostanze, se bioaccumulate e soggette a biomagnificazione, aumentano il rischio di causare danni e patologie agli organismi che le ospitano. Inoltre, misure di bioaccumulo possono fornire importanti indicazioni per la valutazione dello stato ambientale degli ambienti marini. Per l'esecuzione di questi test nella colonna d'acqua vengono comunemente utilizzati i mitili, organismi che, oltre a rappresentare un comune alimento per l'uomo, sono particolarmente indicati per fornire indicazioni sulla qualità della colonna d'acqua, in quanto in grado di filtrare in tempi relativamente brevi grandi quantitativi d'acqua. Nel presente studio, i mitili prelevati presso un vivaio lagunare autorizzato in località Alberoni sono stati trapiantati per valutare le caratteristiche di bioaccumulo di diossine (PCDD/PCDF) e policlorobifenili "diossina-simili" (PCB-DL).

Nelle figure seguenti vengono confrontate le concentrazioni di diossina (somma di PCDD e PCDF) e PCB "diossina simili" (PCB-DL), espresse in unità di tossicità equivalente (pg WHO-TE/g), prima e dopo il trapianto dall'allevamento autorizzato in località Alberoni (stazione V), nelle diverse stazioni indicate in Figura 2. Oltre alle stazioni lagunari perimetrali poste a 500 metri dal limite urbano della città, i mitili sono stati trapiantati anche in due stazioni dei canali industriali di Porto Marghera (stazioni PM1 e PM2), al fine di avere un confronto tra l'esposizione alla pressione ambientale derivante dall'impatto degli scarichi urbani e quella dell'area industriale di Porto Marghera.

Come già esposto in precedenza, l'attività si è svolta in due campagne: la prima da giugno a settembre 2008 (barre celesti nei grafici) e la seconda da marzo a luglio 2009 (barre rosse). Va precisato che il periodo di trapianto della seconda campagna è stato di 110 giorni, circa 30 giorni in più della prima. Come già evidenziato, per motivi diversi, tra cui la sottrazione degli organismi trapiantati da parte di ignoti in alcune stazioni e la morte degli organismi in altre, non è stato possibile recuperare e analizzare tutti i campioni trapiantati. Pertanto, il confronto delle figure seguenti è relativo solo alle stazioni in cui è stato possibile recuperare integralmente i mitili alla fine del periodo di trapianto.

In Figura 30 sono rappresentati i valori di concentrazione della diossina (PCDD/PCDF) nei campioni di mitili trapiantati nelle diverse stazioni e nei mitili del vivaio.

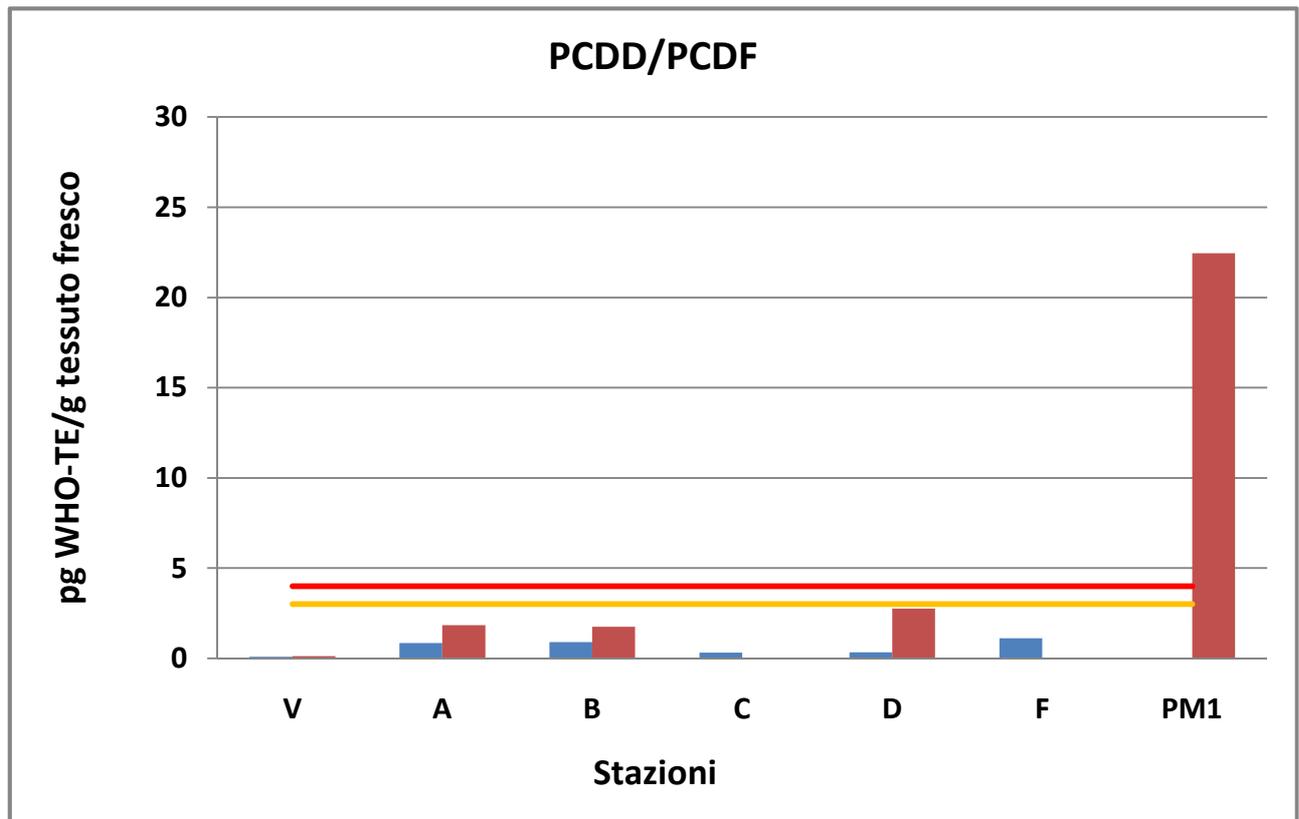
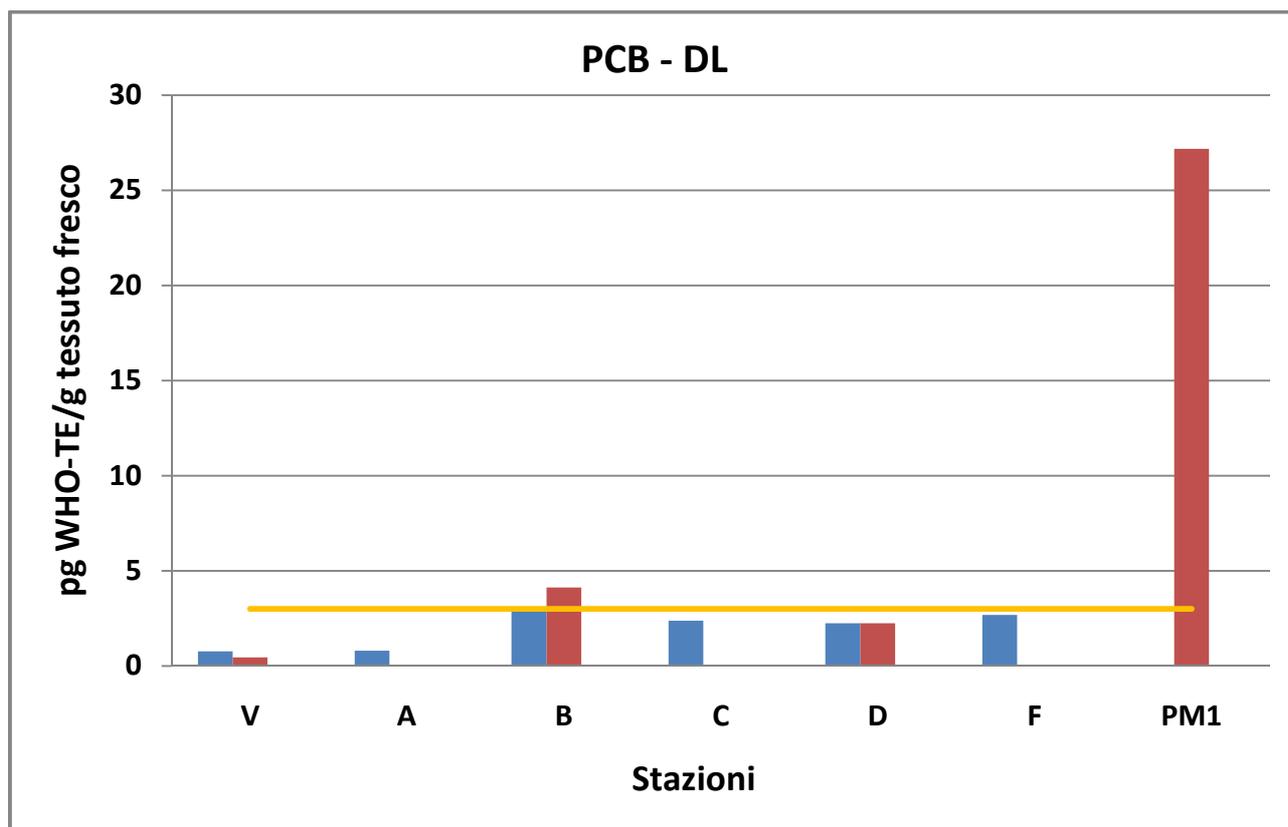


Figura 30. Concentrazione di diossina (PCDD/PCDF) nei campioni di mitili trapiantati nelle diverse stazioni e nei mitili del vivaio prima del trapianto.

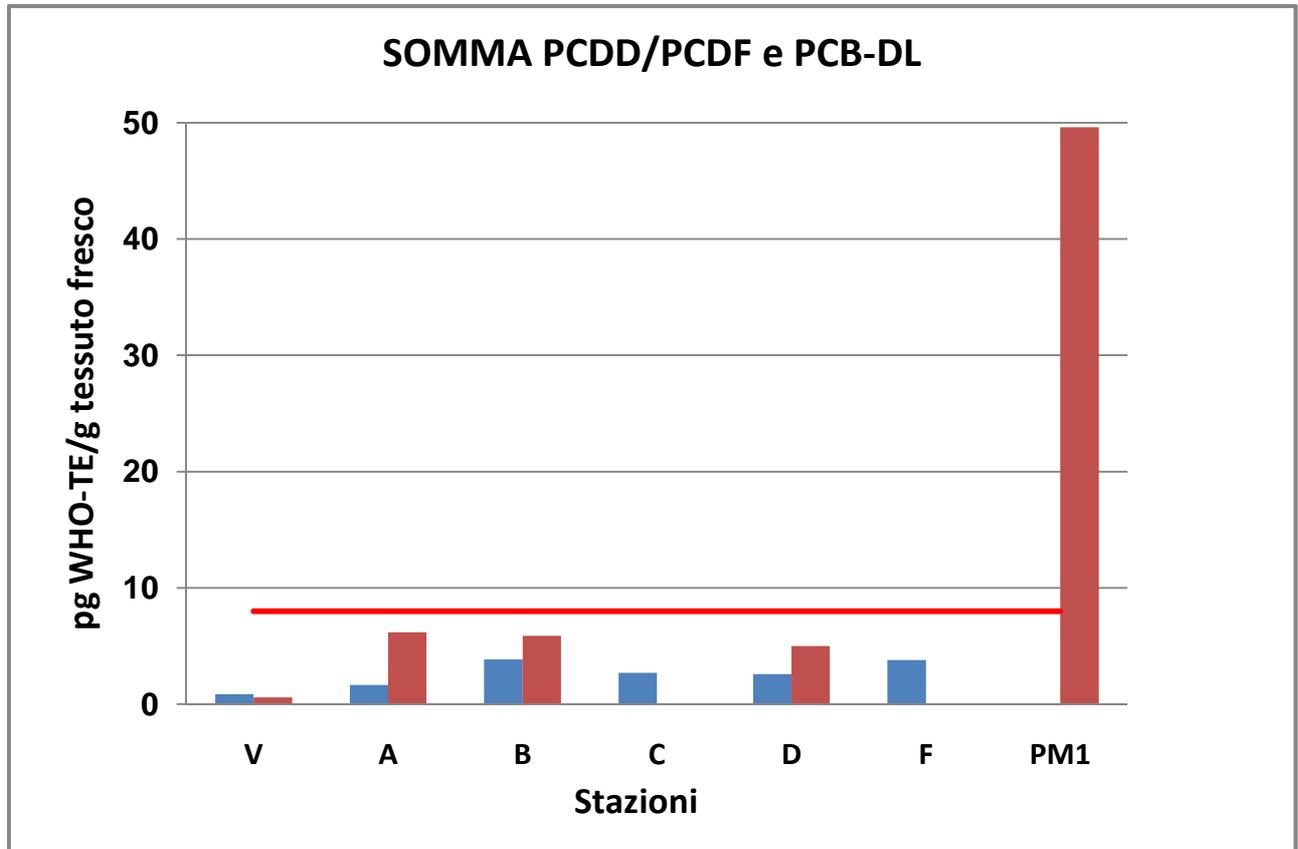
La linea rossa di riferimento rappresenta il valore di concentrazione di 4 pg WHO-TE/g stabilito dal Regolamento della Commissione Europea n. 199/2006 del 3 febbraio 2006 come limite di concentrazione di diossina nel tessuto fresco nel muscolo di pesce, inclusi i molluschi, al di sopra del quale è vietata la commercializzazione del prodotto (34), mentre la linea arancio rappresenta il limite di 3 pg/g WHO-TE/g della Raccomandazione della Commissione Europea del 6 febbraio 2006, stabilito come livello di contaminazione da raggiungere per poter ridurre l'esposizione di gran parte della popolazione della Comunità fino alla dose settimanale ammessa per diossine e PCB-DL stabilita dal Comitato Scientifico dell'alimentazione umana (35). Come si può notare, i mitili provenienti dal vivaio (stazione V) sono risultati abbondantemente al di sotto dei limiti in entrambe le campagne, mentre i campioni trapiantati nelle aree perimetrali, pur rispettando i limiti, hanno mostrato una chiara tendenza al bioaccumulo. Risultano invece estremamente elevati e nettamente superiori ai limiti, i valori di concentrazione dei mitili trapiantati nella stazione PM1 del Canale Brentella di Porto Marghera, segno di un'elevata biodisponibilità di questo contaminante nelle acque del Canale Brentella.



**Figura 31. Concentrazione di PCB “diossina simili” (PCB-DL) nei campioni di mitili trapiantati nelle diverse stazioni e nei mitili del vivaio prima del trapianto**

Per i PCB-DL (Figura 31), il Regolamento n. 199/2006 della Commissione Europea non ha previsto un valore limite per la commercializzazione del prodotto, ma esiste solo il limite di 3 pg WHO-TE/g della Raccomandazione del 6 febbraio 2006 che, oltre ad essere abbondantemente superato nei mitili trapiantati nella stazione PM1, è superato anche nel campione della stazione B relativo alla seconda campagna (4.13 pg WHO-TE/g), mentre nelle altre stazioni perimetrali, i mitili, pur mostrando una tendenza al bioaccumulo, non superano il valore della Raccomandazione.

La Figura 32 mostra i valori della somma delle concentrazioni della diossina e dei PCB “diossina simili”, espressi in unità di tossicità equivalente (WHO-TE), nella stazione di controllo del vivaio (stazione V) e nelle altre stazioni dopo il periodo di trapianto.



**Figura 32. Somma delle concentrazioni di PCDD/PCDF e di PCB “diossina simili” (PCB-DL) nei campioni di mitili trapiantati nelle diverse stazioni e nei mitili del vivaio prima del trapianto**

In questo caso il Regolamento n. 199/2006 prevede un limite di 8 pg WHO-TE/g per la somma di diossine e PCB-DL nel muscolo di pesce, valore oltre il quale non può essere consentita la commercializzazione del prodotto. Anche in questo caso, i campioni del vivaio risultano ampiamente entro il limite del Regolamento, così come i campioni trapiantati nelle stazioni delle aree perimetrali, mentre continuano ad essere abbondantemente superiori al valore limite i mitili trapiantati nella stazione PM1 del Canale Brentella.

La tendenza al bioaccumulo di diossina e PCB-DL è espressa dal fattore di bioaccumulo BAR (BioAccumulation Ratio), definito dal rapporto tra la concentrazione delle specie chimiche misurate nei mitili trapiantati rispetto ai mitili del vivaio ( $BAR = C_{onc} \text{ trapiantati} / C_{onc} \text{ vivaio}$ ) (36). I valori dei BAR nelle diverse stazioni riportati in Tabella 15 indicano che le diossine sono caratterizzate da una maggiore biodisponibilità rispetto ai PCB-DL. Inoltre, i valori dei BAR delle diossine e dei PCB-DL nella stazione PM1 indicano che la biodisponibilità di questi composti (sia diossine che PCB-DL) nella colonna d'acqua del Canale Brentella è estremamente elevata, circa un ordine di grandezza maggiore di quella delle aree perimetrali alla città.



**Tabella 15. Rapporti di bioaccumulo per PCDD/PCDF e PCB-DL nei campioni di mitili trapiantati nelle diverse campagne**

STAZIONE	CAMPAGNA	PCDD/PCDF	PCB-DL
A	1 <sup>^</sup>	9,3	1,1
	2 <sup>^</sup>	15,3	-
B	1 <sup>^</sup>	10	3,8
	2 <sup>^</sup>	14,5	9,2
C	1 <sup>^</sup>	3,6	3,1
	-	-	-
D	1 <sup>^</sup>	3,7	2,9
	2 <sup>^</sup>	22,9	5,0
PM1	2 <sup>^</sup>	187,2	60,4

Poiché la diossina e i PCB-DL sono praticamente insolubili in acqua, la loro presenza nelle acque lagunari è associata quantitativamente al particolato sospeso (32); è quindi attraverso la frazione solida sospesa, sia di tipo inorganico (sedimenti) che organico (fitoplancton, colloidali dispersi), che questi composti si rendono disponibili per il bioaccumulo negli organismi filtratori.

Il confronto dei valori di bioaccumulo di diossine e PCB-DL tra la stazione PM1 e le stazioni perimetrali alla città sembra indicare che la contaminazione del particolato sospeso nel Canale Brentella è decisamente maggiore di quella nelle aree lagunari che circondano la città; questa differenza potrebbe essere in relazione alle diverse caratteristiche di contaminazione dei sedimenti dei fondali in equilibrio con la colonna d'acqua in queste aree della laguna.

## 6. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

La campagna di monitoraggio delle acque dei rii veneziani eseguita dal Magistrato alle Acque nel periodo 2008-2009 ha dimostrato che le caratteristiche delle acque dei rii sono notevolmente migliorate rispetto agli anni '70 e '80 del secolo scorso e che tale processo di miglioramento è tuttora in corso.

Le caratteristiche dei rii cittadini risentono significativamente dei processi stagionali di trasformazione degli inquinanti che avvengono a scala lagunare e anche all'interno della città si osservano gli stessi andamenti per la maggior parte dei macrodescrittori. Solo per l'azoto ammoniacale e per i fosfati si osservano andamenti che sono determinati direttamente dall'influsso degli scarichi urbani di cui i rii sono i ricettori.

Le caratteristiche medie delle acque dei rii superano gli obiettivi di qualità imperativi stabiliti dal decreto "Ronchi-Costa" per 9 parametri, di cui 4 (TDN, Zn, Diossina e PCB) superiori agli obiettivi di qualità anche nella laguna aperta. TDP (fosforo totale disciolto), Pb, Cu, Cd e la sommatoria dei Composti Aromatici rappresentano i parametri che caratterizzano l'inquinamento prodotto dalla città.

Grazie all'effetto della marea che periodicamente diluisce e disperde gli inquinanti, le caratteristiche medie di qualità delle acque dei rii sono migliori, per quanto riguarda i macrodescrittori, di quelle della maggior



parte dei tratti terminali dei corsi d'acqua del bacino scolante in laguna. Inoltre, gli standard di qualità ambientale fissati dal D.M. 56/2009 per la classificazione dello stato chimico dei corpi idrici a livello comunitario sono stati rispettati per tutte le sostanze pericolose prioritarie che sono state ricercate nel corso dello studio (38 su 48).

Nonostante il benefico effetto della marea e il generale miglioramento delle caratteristiche dei rii negli ultimi decenni, alcuni rii hanno manifestato concentrazioni degli inquinanti maggiori di altri. Tali condizioni appaiono determinate principalmente dalla presenza di insediamenti particolarmente impattanti (grandi strutture alberghiere, aziende della ristorazione e presidi ospedalieri) e dalle condizioni idrodinamiche, quali la velocità di corrente, la sezione idraulica del rio e la sua posizione.

L'inquinamento prodotto dalla città interessa marginalmente le acque della laguna; infatti, a 500 metri dalla linea centro abitato solo Cd e Cu continuano a superare gli obiettivi di qualità, mentre la concentrazione degli altri inquinanti caratteristici viene drasticamente ridotta per effetto della diluizione con l'acqua della laguna. A tale risultato contribuisce anche la forte affinità degli inquinanti per la frazione fine dei sedimenti dei rii, che riduce notevolmente la disponibilità della maggior parte dei metalli e dei contaminanti organici tossici (IPA, diossine e PCB) verso la colonna d'acqua. Nelle aree perimetrali, anche gli indici di contaminazione fecale (*Escherichia coli*) sono abbattuti al di sotto dei limiti previsti per la balneazione.

I sedimenti accumulano molti degli inquinanti rilasciati dagli scarichi e dalle altre fonti di inquinamento diffuso, come il rame e lo zinco dalle carene delle imbarcazioni e gli idrocarburi policiclici aromatici dai residui della combustione dei motori marini. Per questo motivo, la contaminazione dei sedimenti dei rii tende ad aumentare, con il rischio che i sedimenti stessi possano, a loro volta, trasformarsi in sorgenti di contaminazione della colonna d'acqua. L'indagine sulle caratteristiche dei sedimenti superficiali dei rii del presente studio ha evidenziato che il 28 % dei campioni analizzati supera i limiti della colonna C del Protocollo d'Intesa del 1983, mentre il 70 % risulta conforme ai limiti della stessa colonna e solo il 2 % corrisponde ai requisiti della colonna B. Il Cu è il parametro che pesa in misura maggiore nel determinare la classe C, cui seguono Hg e Pb, mentre per l'attribuzione alla classe superiore a C risultano determinanti i superamenti degli IPA. Questi risultati, sia pur relativi ad un numero limitato di campioni, sembrano indicare che la qualità dei sedimenti dei rii possa essere peggiorata rispetto all'ultima campagna di escavo, conclusasi circa 10 anni fa, e suggeriscono l'opportunità di un approfondimento analitico su un numero più esteso di stazioni per accertare l'entità della contaminazione e valutare l'esigenza di procedere ad una nuova campagna di manutenzione dei fondali dei rii.

I test di bioaccumulo di microinquinanti organici (diossina e policlorobifenili "diossina-simili") effettuati su mitili trapiantati nelle aree lagunari perimetrali a 500 metri dalla linea del centro urbano, hanno verificato la presenza e la biodisponibilità di questi contaminanti, tuttavia in misura decisamente inferiore a quanto rilevato nelle acque dei canali industriali di Porto Marghera, dove gli stessi test hanno evidenziato rapporti di bioaccumulo di un ordine di grandezza superiore. La concentrazione di diossine e PCB-DL nei mitili trapiantati nelle stazioni delle aree perimetrali è sempre risultata inferiore, al termine del periodo di trapianto, ai limiti previsti dai regolamenti europei per la commercializzazione dei prodotti ittici.

Il presente studio rappresenta uno stimolo a seguire in modo sistematico l'evoluzione delle caratteristiche delle acque dei rii in relazione al processo di adeguamento degli scarichi cittadini avviato dal Comune di Venezia e dal Magistrato alle Acque fin dall'inizio degli anni '90. Sulla base delle stime più recenti dell'Ufficio Antinquinamento del Magistrato alle Acque, lo sviluppo del processo di adeguamento degli scarichi del centro storico ha superato il 50 % e la qualità delle acque dei rii ha raggiunto, per la maggior



parte dei parametri, la conformità con gli standard di qualità ambientale stabiliti dal decreto “Ronchi-Costa” e dalle direttive comunitarie. Con il procedere degli adeguamenti, tale condizione sarà suscettibile di ulteriori miglioramenti e potrà raggiungere lo stato di piena accettabilità dal punto di vista ambientale.

Tuttavia, tale processo non può prescindere dalla gestione di questo importante e, forse unico al mondo, sistema di impianti decentralizzati. Oltre al programma SISTEMAV per la gestione degli impianti di depurazione biologica, già in funzione da anni, è necessario che anche i sistemi basati su fosse settiche e condensagrassi siano controllati e che venga assicurata la loro periodica manutenzione da parte di operatori adeguatamente formati e abilitati.



## BIBLIOGRAFIA

1. Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, Magistrato alle Acque, Sezione Antinquinamento, *Campagna di monitoraggio delle acque della laguna di Venezia – Dati relativi al 1999, 2001*
2. Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, Magistrato alle Acque, Sezione Antinquinamento, *Monitoraggio delle acque della laguna di Venezia – Dati relativi al 2000-2001, 2002*
3. Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, Magistrato alle Acque, Progetto MELa – *Monitoraggio ecosistema lagunare, 2005*
4. Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, Magistrato alle Acque, Progetto MELa – *Monitoraggio ecosistema lagunare, 2009*
5. Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, Magistrato alle Acque, Sezione Antinquinamento, *La rete di monitoraggio SAMANET della qualità delle acque della laguna di Venezia – Anno 2008*, [http://www.magisacque.it/sama/report/samanet\\_2008.pdf](http://www.magisacque.it/sama/report/samanet_2008.pdf)
6. Ministero dell'Ambiente, Decreto Interministeriale 23 aprile 1998, "Requisiti di qualità delle acque e caratteristiche degli impianti di depurazione per la tutela della laguna di Venezia", G.U. n. 140, Serie generale, 18/06/1998
7. Ministero dell'Ambiente e della Tutela del territorio e del Mare, Decreto 14 aprile 2009, n. 56, "Regolamento recante criteri tecnici per il monitoraggio dei corpi idrici e l'identificazione delle condizioni di riferimento per la modifica delle norme tecniche del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152, recante norme in materia ambientale, predisposto ai sensi dell'articolo 75, comma 3, del decreto legislativo medesimo", Suppl. ord. n. 83/L alla G.U. n. 124 del 30 maggio 2009
8. Parlamento Europeo e Consiglio dell'Unione Europea, *Direttiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 23/10/2000 che istituisce un quadro per l'azione comunitaria a livello di acque*, Gazzetta Ufficiale delle Comunità Europee, n. L/327/1, 22/12/2000
9. Majori, L., Rausa, G., Morelli, M.L., Diana, L., Gasparini, V., "L'inquinamento delle acque del mare nell'alto Adriatico. Nota III: studio della laguna veneta e della zona di mare ad essa prospiciente", *L'Igiene Moderna*, 62, pp. 1-35, 1969
10. Ministero dei LL. PP. Comitato per lo studio dei provvedimenti a difesa della città di Venezia ed a salvaguardia dei suoi caratteri ambientali e monumentali. Il Gruppo di lavoro – III Sottogruppo. "Ricerche sulle condizioni igieniche dei corpi d'acqua che circondano l'area in predicato per la costruzione della fognatura. Rilievi analitici relativi alle acque dei canali del Quartiere di Cannaregio", 1971
11. Zucchetta G., "Canali e rii di Venezia – Stato attuale dell'inquinamento", *Atti dell'Ateneo Veneto*, 21 (2) pp. 45-109, 1983
12. Borrelli, A., Chiappini L., De Fraja Frangipane, E., Sandri, G., "Fognature per Venezia insulare. Studio di fattibilità. Rapporto preliminare", Regione del Veneto, 1985



13. Aimo, E., Della Sala, S., Stradella, S., Tagliapietra, D., Vazzoler, M., *“L'inquinamento dei rii – La diffusione degli inquinanti nei canali di Venezia”*, In: Venezia la città dei rii, pp. 222-239, Unesco, Insula, 1999
14. Scattolin, M., Zonta, R., Botter, M., Tagliapietra, D., Rismondo, A., *“Indagine sulla qualità delle aree marginali di Venezia”*, Rapporto Tecnico, Ottobre 2003
15. Zonta, R., Botter, M., Scattolin, M., In: *Atlante della Laguna. Venezia tra terra e mare*, Marsilio, 2006
16. AA.VV., *“Stato dell'ecosistema lagunare veneziano”*, Strumenti del Magistrato alle Acque di Venezia, Marsilio, 2010
17. Ferrari, G., Tromellini, E., *“Venezia, una scelta obbligata”*, Quaderni del Magistrato alle Acque, Marsilio, 2007
18. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Water, *“Sampling ambient water for trace metals at EPA water quality criteria levels”*, Method 1669, July 1996
19. Castellani, C., Barbanti, A., Colombini, G., *“Il carico di nutrienti scaricato da Venezia alla laguna”* Acqua&Aria, 3, pp. 30-35, 2005
20. APAT-CNR-IRSA, *“Metodi analitici per le acque”*, Volume 2, metodo 5130 Richiesta chimica di ossigeno COD, p. 781, 2003
21. Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, Magistrato alle Acque – *“Progetto DRAIN. Trasferimento di acqua dolce e inquinanti dal bacino scolante alla laguna di Venezia”*, 2001
22. ARPAV, *“Qualità dei corpi idrici – dati 2008”*, [www.arpa.veneto.it](http://www.arpa.veneto.it)
23. Delgadillo-Hinojosa, F., Zirino, A., Nasci, C., *“Copper complexation capacity in surface waters of the Venice lagoon”*, Marine Environmental Research, 66, pp. 404-411, 2008
24. Dorigo, L., *“Rilievi contemporanei di velocità della corrente di marea nei canali della Giudecca, Fondamenta Nuove, Canal Grande ed in alcuni rii interni della città”*, Istituto Veneto di Scienze, Lettere ed Arti, Commissione per lo studio dei provvedimenti per la conservazione e difesa della laguna e della città di Venezia, Volume III, Rapporti e Studi, pp. 129-151, 1966
25. Tiso, A., *“Inquinamento prodotto dagli scarichi delle industrie di Porto Marghera nelle acque della laguna di Venezia”*, Istituto Veneto di Scienze, Lettere ed Arti, Commissione per lo studio dei provvedimenti per la conservazione e difesa della laguna e della città di Venezia, Volume III, Rapporti e Studi, pp. 185-229, 1966
26. Pastres, R., Solidoro, C., Ciavatta, S., Petrizzo, A., Cossarini, G., *“Long term changes of inorganic nutrients in the Lagoon of Venice (Italy)”*, Journal of Marine Systems, 51, pp. 179-189, 2004
27. Masotti, L., Verlicchi, P., *“Depurazione delle acque di piccole comunità”*, p. 164, Hoepli, Milano, 2005



28. Apitz, S.E., Barbanti, A., Bocci, M., Carlin, A., Montobbio, L., Bernstein, A.G., *"The sediments of the Lagoon of Venice (Italy) evaluated in a screening risk assessment approach: Part I – Application of international sediment quality guidelines"*, Integrated Environmental Assessment and Management, 3 (3), pp. 393-414, 2007
29. Zonta, R., Zaggia, L., Costa, F., Scattolin, M., *"Sediment contamination assessment of the Venice canal network (Italy)"*. In: Fletcher, C.A., Spencer, T. (eds.) *Flooding and environmental challenges for Venice and its Lagoon: state of knowledge*, Cambridge, Cambridge University Press, 2005
30. Schiff, K.; Diehl, D., Valkirs, A. O., *"Copper emissions from antifouling paint on recreational vessels"*, Marine Pollution Bulletin, 48, pp. 371-377, 2004
31. Secco, T., Pellizzato, F., Sfriso, A., Pavoni, B., *"The changing state of contamination in the Lagoon of Venice. Part 1: organic pollutants"*, Chemosphere, 58, pp. 279-290, 2005
32. Ferrari, G., Tromellini, E., *"Un mare curabile"*, Quaderni del Magistrato alle Acque, Marsilio, 2007
33. Yunker, M.B., Macdonald, R.W., Vingarzan, R., Mitchell, R.H., Goyette, D., Sylvestre, S., *"PAHs in the Fraser river basin: a critical appraisal of ratio as indicator of PAH source and composition"*, Organic Geochemistry, 33, pp. 489-515, 2002
34. Gazzetta Ufficiale dell'Unione Europea, *"Regolamento (CE) n. 199/2006 della Commissione del 3 febbraio 2006 che modifica il regolamento (CE) n. 466/2001 che definisce i tenori massimi di alcuni contaminanti presenti nelle derrate alimentari per quanto riguarda le diossine e i PCB diossinasi"*, GU n. L32 del 04.02.2006, pp. 34-38
35. Gazzetta Ufficiale dell'Unione Europea, *"Raccomandazione della Commissione, del 6 febbraio 2006, relativa alla riduzione della presenza di diossine, furani e PCB nei mangime e negli alimenti"*, GU n. L42 del 14.02.2006, pp. 26-28
36. Ruus, A., Schaanning, M., Øxnevad, S., Hilland, K., *"Experimental results on bioaccumulation of metals and organic contaminants from marine sediments"*, Aquatic Toxicology, 72, pp. 273-292, 2005



## APPENDICE

Tabelle A-D: statistiche descrittive dei valori non-outlier relativi ai parametri determinati nelle acque dei rii della città di Venezia nelle stazioni comprese in una fascia di 500 metri dal limite della città .

Tabelle E-F: statistiche descrittive dei parametri analizzati nei sedimenti dei rii della città di Venezia nelle stazioni comprese in una fascia di 500 metri dal limite della città.

GLOSSARIO: principali caratteristiche dei contaminanti ricercati nel presente studio.



Tabella A. Concentrazioni medie e statistiche descrittive dei parametri analizzati nelle acque dei rii della città di Venezia

Parametro	Unità di misura	N° campioni	Media	Minimo	Massimo	Deviazione Standard	CV %
TOC	µg/L	151	2125	1000	4000	708	33
DOC	µg/L	151	1756	600	3200	591	34
BOD <sub>5</sub>	µg/L	152	1795	250	5500	1058	59
Tensioattivi anionici (MBAS)	µg/L	73	297	25	700	114	38
N-NO <sub>2</sub>	µg/L	150	15	7	29	5	33
N-NO <sub>3</sub>	µg/L	152	346	20	1300	214	62
N-NH <sub>4</sub>	µg/L	148	259	20	1010	209	81
TDN	µg/L	151	858	260	2500	398	46
P-PO <sub>4</sub>	µg/L	147	35	1	149	30	84
TDP	µg/L	145	41	5	126	30	72
O <sub>2</sub>	% sat.ne	151	86	25	138	15	18
Torbidità	FTU	151	27	5	175	31	113
Clorofilla-a	mg/L	151	2	0	12	3	137
Escherichia coli	UFC/100 mL	136	1804	0	9600	2050	114
As disciolto	µg/L	152	1,3	0,5	2,8	0,5	37
As totale	µg/L	32	1,7	1,2	3,3	0,5	30
Hg disciolto	µg/L	150	0,004	< 0,005	0,0	0,0	70
Hg totale	µg/L	32	0,0	< 0,005	0,1	0,0	64
Cd disciolto	µg/L	149	0,042	< 0,02	0,1	0,0	44
Cd totale	µg/L	32	0,1	0,03	0,2	0,0	43
Sb disciolto	µg/L	152	0,3	< 0,1	0,4	0,1	34
Sb totale	µg/L	32	0,3	0,2	0,4	0,1	18
Pb disciolto	µg/L	150	0,22	< 0,1	0,8	0,1	65
Pb totale	µg/L	32	1,8	0,4	4,1	1,2	69
Ni disciolto	µg/L	149	< 2	< 2	< 2	-	-
Ni totale	µg/L	31	3,2	< 2	6,0	1,0	32
Mn disciolto	µg/L	151	5,5	<1	14,0	3,2	57
Mn totale	µg/L	32	18,0	7,0	40,0	9,5	53
V disciolto	µg/L	152	1,2	0,6	2,7	0,5	40
V totale	µg/L	32	2,2	1,0	4,4	0,8	36
Cr <sub>tot</sub> disciolto	µg/L	150	0,16	< 0,1	0,4	0,1	40
Cr <sub>tot</sub> totale	µg/L	31	1,2	0,5	2,7	0,6	56
Cu disciolto	µg/L	151	1,6	<0,5	4,0	0,8	48
Cu totale	µg/L	32	5,2	0,9	12,4	3,5	67
Fe disciolto	µg/L	146	3,5	<1	14,0	2,2	63
Fe totale	µg/L	32	361	100	1000	234	65
Zn disciolto	µg/L	151	6,7	2,0	18,0	3,3	50
Zn totale	µg/L	32	16,5	4,0	39,0	7,8	47



**Tabella B. Concentrazioni medie e statistiche descrittive dei microinquinanti organici analizzati nelle acque dei rii della città di Venezia**

Parametro	Unità di misura	N° campioni	Media	Minimo	Massimo	Deviazione Standard	CV %
Benzene	µg/L	152	< 0,4	< 0,4	0,8	0,1	51
Toluene	µg/L	152	1,3	< 0,4	23,6	2,2	174
o+m+p xilene	µg/L	152	0,9	< 0,4	5,0	1,0	105
Σ Composti aromatici	µg/L	152	2,2	< 0,4	25,5	3,0	135
Tetraclorometano	µg/L	152	< 0,4	<0,4	<0,4	-	-
Cloroformio	µg/L	152	<0,4	<0,4	<0,4	-	-
1,2-Dicloroetano	µg/L	152	<0,4	<0,4	<0,4	-	-
Tricloroetilene	µg/L	152	<0,4	<0,4	<0,4	-	-
Tetracloroetilene	µg/L	152	<0,4	<0,4	<0,4	-	-
Triclorobenzene	µg/L	152	<0,4	<0,4	<0,4	-	-
Esaclorobutadiene	µg/L	152	<0,02	<0,02	<0,02	-	-
Tetraclorobenzene	µg/L	152	<0,02	<0,02	<0,02	-	-
Pentaclorobenzene	µg/L	152	<0,02	<0,02	<0,02	-	-
Σ Solventi alogenati	µg/L	152	<0,4	<0,4	<0,4	-	-
Diclorofenoli	µg/L	152	<0,02	<0,02	<0,02	-	-
Pentaclorofenolo	µg/L	152	0,03	<0,02	0,38	0,05	171
Fenoli totali	µg/L	139	0,11	<0,02	0,66	0,11	100
Antracene	µg/L	150	<0,005	<0,005	0,009	0,001	34
Fluorantene	µg/L	150	0,007	<0,005	0,086	0,009	134
Benzo(a)pirene	µg/L	150	<0,005	<0,005	0,025	0,003	85
Benzo(b)fluorantene	µg/L	150	<0,005	<0,005	0,117	0,010	215
Benzo(k)fluorantene	µg/L	150	<0,005	<0,005	0,017	0,003	82
Benzo(g,h,i)perilene	µg/L	150	<0,005	<0,005	0,021	0,002	79
Indeno(1,2,3,cd)pirene	µg/L	150	<0,005	<0,005	0,019	0,003	81
Naftalene	µg/L	150	<0,005	<0,005	0,011	0,001	35
Benzo(a)antracene	µg/L	150	<0,005	<0,005	0,034	0,004	108
Crisene	µg/L	150	<0,005	<0,005	0,035	0,004	109
Dibenzo(a,h)antracene	µg/L	150	<0,005	<0,005	0,016	0,002	58
Σ IPA	µg/L	150	0,012	<0,005	0,211	0,029	245
PBDE	µg/L	13	0,00005	<0,00005	0,00013	0,00003	71
Diossine e Furani	µg (ITE)/L	118	3,4948E-08	-	6,9E-07	9,02E-08	258
PCB Diossina Simili	µg (WHO-TE)/L	137	4,4914E-08	-	7,1E-07	1,01E-07	224
PCB totali	µg/L	150	0,0014	<0,000002	0,0150	0,0021	155
Aldrin	µg/L	152	<0,02	<0,02	<0,02	-	-
DDT (totale)	µg/L	152	<0,02	<0,02	0,069	0,00495	47
Eptacloro	µg/L	152	<0,02	<0,02	<0,02	-	-
Endosulfano	µg/L	152	<0,02	<0,02	<0,02	-	-
Esaclorocicloesano α+β+γ	µg/L	152	<0,02	<0,02	0,04	0,005	40
Esaclorobenzene	µg/L	145	0,00009	<0,00002	0,00126	0,00020	235



Tabella C. Concentrazioni medie e statistiche descrittive dei parametri nelle acque delle stazioni comprese in una fascia di 500 m dalla città di Venezia

Parametro	Unità di misura	N° campioni	Media	Minimo	Massimo	Deviazione Standard	CV %
TOC	µg/L	24	1879	1200	3800	716	38
DOC	µg/L	24	1567	1000	2600	521	33
BOD <sub>5</sub>	µg/L	24	1579	700	4800	964	61
Tensioattivi anionici (MBAS)	µg/L	11	304	25	440	113	37
N-NO <sub>2</sub>	µg/L	24	10	2	21	5	49
N-NO <sub>3</sub>	µg/L	24	320	20	800	258	81
N-NH <sub>4</sub>	µg/L	24	100	30	290	69	69
TDN	µg/L	24	628	240	1400	328	52
P-PO <sub>4</sub>	µg/L	24	9	1	25	8	85
TDP	µg/L	24	12	5	28	8	66
O <sub>2</sub>	% sat.ne	24	104	76	151	16	15
Clorofilla-a	mg/L	24	3,0	0,3	19,1	5,0	166
Torbidità	FTU	24	27,0	7,1	269,3	52,1	193
Escherichia Coli	UFC/100 mL	24	43	0	460	122	281
As disciolto	µg/L	24	1,15	0,70	2,10	0,35	31
Hg disciolto	µg/L	22	0,007	< 0,005	0,02	0,00	62
Cd disciolto	µg/L	22	0,05	< 0,02	0,11	0,03	64
Sb disciolto	µg/L	24	0,25	0,13	0,40	0,08	32
Pb disciolto	µg/L	24	< 0,1	< 0,1	0,50	0,09	124
Ni disciolto	µg/L	24	< 2	< 2	< 2	-	-
Mn disciolto	µg/L	23	3,79	0,50	11,00	2,44	65
V disciolto	µg/L	24	1,15	0,80	1,80	0,24	21
Cr <sub>tot</sub> disciolto	µg/L	23	0,17	< 0,1	0,30	0,08	46
Cu disciolto	µg/L	24	1,65	< 0,5	3,00	1,05	64
Fe disciolto	µg/L	24	4,14	< 1	10,00	2,84	69
Zn disciolto	µg/L	24	3,66	< 1	7,00	1,73	47



**Tabella D. Concentrazioni medie e statistiche descrittive dei microinquinanti organici nelle acque delle stazioni comprese in una fascia di 500 m dalla città di Venezia**

Parametro	Unità di misura	N° campioni	Media	Minimo	Massimo	Deviazione Standard	CV %
Benzene	µg/L	24	< 0,4	< 0,4	<0,4	-	-
Toluene	µg/L	24	< 0,4	< 0,4	4,3	0,8	226
o+m+p xilene	µg/L	24	< 0,4	< 0,4	< 0,4	-	-
Σ Composti aromatici	µg/L	24	< 0,4	< 0,4	4,3	0,8	226
Tetraclorometano	µg/L	24	< 0,4	< 0,4	< 0,4	-	-
Cloroformio	µg/L	24	< 0,4	< 0,4	< 0,4	-	-
1,2-Dicloroetano	µg/L	24	< 0,4	< 0,4	< 0,4	-	-
Tricloroetilene	µg/L	24	< 0,4	< 0,4	< 0,4	-	-
Tetracloroetilene	µg/L	24	< 0,4	< 0,4	< 0,4	-	-
Triclorobenzene	µg/L	24	< 0,4	< 0,4	< 0,4	-	-
Esaclorobutadiene	µg/L	24	< 0,02	< 0,02	< 0,02	-	-
Tetraclorobenzene	µg/L	24	< 0,02	< 0,02	< 0,02	-	-
Pentaclorobenzene	µg/L	24	< 0,02	< 0,02	< 0,02	-	-
Σ Solventi alogenati	µg/L	24	< 0,4	< 0,4	< 0,4	-	-
Diclorofenoli	µg/L	24	< 0,02	< 0,02	< 0,02	-	-
Pentaclorofenolo	µg/L	24	0,04	< 0,02	0,28	0,07	171
Fenoli totali	µg/L	24	0,08	< 0,02	0,60	0,13	175
Antracene	µg/L	24	<0,005	< 0,005	<0,005	-	-
Fluorantene	µg/L	24	<0,005	<0,005	0,008	0,002	56
Benzo(a)pirene	µg/L	24	<0,005	<0,005	0,008	0,001	43
Benzo(b)fluorantene	µg/L	24	<0,005	<0,005	0,019	0,004	105
Benzo(k)fluorantene	µg/L	24	<0,005	<0,005	0,018	0,003	100
Benzo(g,h,i)perilene	µg/L	24	<0,005	<0,005	0,016	0,003	92
Indeno(1,2,3,cd)pirene	µg/L	24	<0,005	<0,005	0,014	0,003	80
Naftalene	µg/L	24	<0,005	<0,005	0,015	0,004	94
Benzo(a)antracene	µg/L	24	<0,005	<0,005	0,008	0,001	41
Crisene	µg/L	24	<0,005	<0,005	0,011	0,002	66
Dibenzo(a,h)antracene	µg/L	24	<0,005	<0,005	0,009	0,001	51
Σ IPA	µg/L	24	0,009	<0,005	0,103	0,023	253
PBDE	µg/L	1	0,00008	-	-	-	-
Diossine e Furani	µg (ITE)/L	13	7,2E-08	-	1,1E-06	2,4E-07	340
PCB Diossina Simili	µg (WHO-TE)/L	23	4,2E-08	-	2,9E-07	8,5E-08	202
PCB totali	µg/L	24	0,0009	<0,000002	0,0073	0,0016	178
Aldrin	µg/L	24	<0,02	<0,02	<0,02	-	-
DDT (totale)	µg/L	24	0,03	<0,02	0,26	0,06	218
Eptacloro	µg/L	24	<0,02	<0,02	<0,02	-	-
Endosulfano	µg/L	24	<0,02	<0,02	<0,02	-	-
Esaclorocicloesano α+β+γ	µg/L	24	<0,02	<0,02	<0,02	-	-
Esaclorobenzene	µg/L	22	0,00004	<0,00002	0,00021	0,00005	135



**Tabella E. Concentrazioni medie e statistiche descrittive dei parametri analizzati nei sedimenti dei rii della città di Venezia**

Parametro	Unità di misura	N° campioni	Media	Minimo	Massimo	Deviazione Standard	CV %
As	mg/kg ss	38	21	10	39	7	34
Hg	mg/kg ss	37	2,2	0,8	5,0	1,0	45
Cd	mg/kg ss	38	1,2	0,4	3,0	0,7	56
Sb	mg/kg ss	37	0,8	0,2	2,2	0,5	56
Pb	mg/kg ss	37	95	31	203	47	49
Ni	mg/kg ss	38	20	13	26	3	16
Mn	mg/kg ss	38	305	229	382	35	12
V	mg/kg ss	38	33	21	49	8	25
Cr	mg/kg ss	38	35	20	53	9	25
Cu	mg/kg ss	37	150	45	326	57	38
Fe	mg/kg ss	38	17389	12786	22320	2343	13
Zn	mg/kg ss	38	353	160	671	142	40
Benzo(a)pirene	µg/kg ss	35	1211	<50	5509	1230	102
Benzo(b)fluorantene	µg/kg ss	35	1450	57	6768	1465	101
Benzo(k)fluorantene	µg/kg ss	35	878	<50	3928	824	94
Benzo(g,h,i)perilene	µg/kg ss	35	746	<50	3488	757	101
Indenopirene	µg/kg ss	35	702	<50	3368	637	91
Antracene	µg/kg ss	33	275	<50	1267	268	97
Fluorantene	µg/kg ss	33	2212	104	8006	1987	90
Naftalene	µg/kg ss	35	<50	<50	106	20	53
Esaclorobenzene	µg/kg ss	38	0,629	0,235	1,342	0,285	45
IPA totali	µg/kg ss	38	16830	588	57977	15596	93
Σ Diossine e PCB-DL	µg WHO-	37	0,0164	0,0058	0,0446	0,0084	51
PCB totali	µg/kg ss	36	124	13	415	95	77
2-bis Etilsilftalato	µg/kg ss	37	835	50	1953	466	56



Tabella F. Concentrazioni medie e statistiche descrittive dei parametri analizzati nei sedimenti delle stazioni comprese in una fascia di 500 m dalla città di Venezia

Parametro	Unità di misura	N° campioni	Media	Minimo	Massimo	Dev.Std.	CV %
As	mg/kg ss	6	14	8	19	4	26
Hg	mg/kg ss	6	0,7	0,1	1,0	0,3	43
Cd	mg/kg ss	6	0,5	0,2	0,8	0,2	47
Sb	mg/kg ss	6	0,2	0,1	0,3	0,1	38
Pb	mg/kg ss	6	23	7	35	9	42
Ni	mg/kg ss	6	12	5	18	4	36
Mn	mg/kg ss	6	283	199	362	56	20
V	mg/kg ss	6	23	12	30	7	29
Cr	mg/kg ss	6	17	7	24	6	37
Cu	mg/kg ss	6	26	5	45	13	50
Fe	mg/kg ss	6	13020	6460	17920	3746	29
Zn	mg/kg ss	6	132	43	196	58	44
Benzo(a)pirene	µg/kg ss	6	81	<50	149	43	53
Benzo(b)fluorantene	µg/kg ss	6	79	<50	153	49	62
Benzo(k)fluorantene	µg/kg ss	6	64	<50	128	39	61
Benzo(g,h,i)perilene	µg/kg ss	6	55	<50	110	36	65
Indenopirene	µg/kg ss	6	58	<50	129	42	72
Antracene	µg/kg ss	6	<50	<50	<50	-	-
Fluorantene	µg/kg ss	6	125	54	246	70	56
Naftalene	µg/kg ss	6	<50	<50	<50	-	-
Esaclorobenzene	µg/kg ss	6	0,207	<0,002	0,498	0,225	109
IPA totali	µg/kg ss	6	919	429	1745	480	52
Σ Diossine e PCB-DL	µg WHO-TE/kg ss	6	0,0055	0,0006	0,0092	0,0030	54
PCB totali	µg/kg ss	6	9,3	3,8	12,3	3,1	33
2-bis Etilsilftalato	µg/kg ss	6	116	25	345	126	109



## GLOSSARIO

- BOD<sub>5</sub>:** è la “Domanda Biologica di Ossigeno” e rappresenta una misura indiretta del contenuto di materia organica biodegradabile presente in un campione d’acqua che si ottiene attraverso la stima del consumo di ossigeno da parte di microrganismi aerobi per un periodo di tempo di 5 giorni. La richiesta biochimica di ossigeno è tanto più elevata quanto maggiore è la concentrazione di sostanze organiche presenti nel campione e quanto maggiore è la velocità con cui sono degradate dai microrganismi.
- COD:** è la “Domanda Chimica di Ossigeno” e rappresenta la quantità di ossigeno necessaria per la completa ossidazione dei composti organici ed inorganici presenti in un campione di acqua. E’ un parametro che individua non solo le sostanze organiche ossidabili biologicamente, ma anche le sostanze organiche non biodegradabili e ossidabili solo chimicamente. E’ un parametro importante nel controllo di qualità di un corso d’acqua, poiché è una misura del grado di inquinamento sia di tipo civile che industriale.
- TOC:** è il “Carbonio Organico Totale” e rappresenta una misura del carbonio legato a composti organici in un campione d’acqua. E’ utilizzato come indicatore non specifico della qualità delle acque.
- DOC:** è il “Carbonio Organico Disciolto” e rappresenta la frazione organica di carbonio misurata in un campione d’acqua a seguito della filtrazione su un filtro a membrana di porosità pari a 0.45 µm.
- MBAS:** i tensioattivi anionici sono costituenti fondamentali dei formulati impiegati nella detergenza domestica ed industriale. La loro presenza in acque superficiali e sotterranee è sempre indice di inquinamento antropico.
- Escherichia coli:* è un batterio che appartiene alla famiglia dei coliformi totali (specie della famiglia Enterobacteriaceae). E’ un indicatore di contaminazione fecale di origine umana ed animale.
- Solidi Sospesi Totali:** sostanze presenti nell’acqua sotto forma di particelle sospese; che vengono trattenute da un filtro a membrana di porosità pari a 0,45 µm.
- Azoto ammoniacale:** deriva dalla degradazione di composti organici azotati. Esso viene considerato indice di inquinamento recente di origine civile da scarichi fognari. In corsi d’acqua ben ossigenati l’azoto ammoniacale risulta assente o presente in tracce poiché viene ossidato velocemente ad azoto nitrico.
- Azoto nitrico e nitroso:** l’azoto nitrico si forma dalla completa ossidazione dell’azoto ammoniacale ad opera dei batteri presenti nelle acque, attraverso un prodotto intermedio costituito dai nitriti. La presenza di nitrati nelle acque è dovuta agli scarichi urbani, alle acque provenienti dal dilavamento dei terreni trattati con fertilizzanti ed agli scarichi industriali. Una elevata concentrazione di nitrati,



associata alla presenza abbondante di fosfati, e in condizioni favorevoli di temperatura, determina il fenomeno della eutrofizzazione.

- Fosfati:** il fosforo nelle acque naturali e di scarico è presente quasi esclusivamente come fosfato. Esso deriva principalmente dagli scarichi urbani (come prodotto del metabolismo umano e come costituente dei detersivi), dal dilavamento dei terreni agricoli trattati con fertilizzanti e dagli effluenti zootecnici.
- Metalli e metalloidi:** la contaminazione da metalli è associata a numerose attività antropiche, ma concentrazioni di fondo sensibili di alcuni metalli e metalloidi possono derivare da processi geologici (arsenico e cromo in laguna). Le fonti antropiche più comuni sono vernici e altri prodotti di finitura, combustione di materiali plastici in PVC, scarichi d'auto, pile e termometri a mercurio e la corrosione di moltissimi prodotti metallici esposti all'ambiente esterno che possono essere rilasciati a causa del dilavamento delle acque meteoriche o per diretto contatto con l'acqua della laguna. I metalli pesanti, in particolare cadmio, piombo e mercurio, sono quelli con maggiori effetti tossici per l'uomo, diversi a seconda del metallo.
- IPA:** gli Idrocarburi Policiclici Aromatici rappresentano una delle più significative classi di composti chimici da monitorare per la riconosciuta azione cancerogena di alcuni di questi composti. Sono il risultato di diverse attività industriali e si sviluppano durante i processi di combustione incompleta di combustibili fossili, nella combustione della biomassa e dalle emissioni del traffico veicolare.
- Idrocarburi totali:** Idrocarburi di origine petrolifera si ritrovano negli scarichi di industrie petrolifere e petrolchimiche in concentrazioni più o meno significative a seconda della tipologia del processo produttivo e dell'età degli impianti. La loro presenza nei corpi idrici è legata per lo più a sversamenti accidentali di combustibili.
- Idrocarburi clorurati:** sono composti di sintesi derivanti da idrocarburi con l'aggiunta di un alogeno quale il cloro. Presentano caratteristiche di elevata persistenza ambientale e tossicità.
- VOC:** con composti organici volatili (VOC) si intende una serie di sostanze in miscele complesse che evaporano facilmente a temperature ambiente. Tra i più noti vi sono gli idrocarburi alifatici (dal n-esano, al n-esadecano e i metilesani), i terpeni, gli idrocarburi aromatici, ([benzene](#) e derivati, toluene, o-xilene, stirene), gli idrocarburi alogenati (cloroformio, diclorometano, clorobenzene, ecc.), gli alcoli, gli esteri, i chetoni, e le aldeidi (tra cui la [formaldeide](#)). I VOC derivano dalle emissioni industriali e automobilistiche così come da un elevato numero di prodotti quali colle, pitture, prodotti per la pulizia, detersivi, cosmetici, insetticidi, stampanti, ecc.



- Fenoli: i composti fenolici, per la loro diffusione, sono inquinanti di rilevante interesse ambientale, risultato di diverse attività industriali, agricole e dei processi di disinfezione con cloro di acque potabili e di scarico.
- PCB: i policlorobifenili sono una miscela di composti organici, che per le proprietà chimiche e fisiche, sono stati ampiamente utilizzati quali fluidi [dielettrici](#) per [condensatori](#) e [trasformatori](#), fluidi per scambio termico e per circuiti idraulici, nonché come additivi in vernici, pesticidi, adesivi, ritardanti di fiamma. Sono inquinanti ubiquitari e persistenti, la cui produzione è stata bandita dalla metà degli anni '80.
- PCDD/PCDF: le diossine (PCDD) e i furani (PCDF) sono composti di struttura simile ai PCB la cui fonte è rappresentata dai processi di combustione e dalle emissioni industriali. Si tratta di inquinanti organici persistenti e fortemente liposubili. La principale via di esposizione a diossine e furani è l'ingestione di alimenti contaminati per cui sono presenti anche negli scarichi fognari come rifiuti del metabolismo umano.
- PBDE: i Difenileteri Polibromurati sono utilizzati come ritardanti di fiamma in numerosi prodotti di consumo in particolare come componenti di apparecchi elettrici. Sono inquinanti persistenti con tendenza al bioaccumulo.
- Pesticidi Organoclorurati: sono composti organici clorurati ad attività insetticida con meccanismo di azione prevalentemente a danno del sistema nervoso. Questi prodotti, unitamente all'esaclorobenzene avente proprietà spiccatamente fungicide, costituiscono una classe di pesticidi di grande rilevanza dal punto di vista della contaminazione ambientale per le caratteristiche di persistenza e tossicità.
- 2-bis Etilsilftalato: inquinante ubiquitario che, come altri ftalati, è utilizzato come plastificante nelle materie plastiche.